ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1902 г. ТОМЪ 3 No. 2

Свойства наэлектризованнаго острія

Н. П. Мышкина [1]).

Сдѣланныя за послѣднее время пріобрѣтенія въ физикѣ привели къ замѣчательному открытію, состоящему въ констатированіи факта существованія частичекъ матеріи меньшихъ атомовъ легчайшаго въ природѣ тѣла — водорода. Къ этому открытію привели изслѣдованія, предпринятыя съ цѣлью рѣшить вопросъ о природѣ катодныхъ лучей. Заключеніе о существованіи частичекъ матеріи меньшихъ атомовъ водорода вытекало, какъ прямое слѣдствіе изъ измѣренія величины отношенія электрическаго заряда, несомаго этими частичками въ потокѣ катодныхъ лучей, къ величинѣ ихъ массы. Другой фактъ, установленный тѣми же изслѣдованіями, состоитъ въ томъ, что такія частички обладаютъ способностію совершать поступательное движеніе съ поразительно громадною скоростью, выражающеюся нѣсколькими десятками тысячъ километровъ въ секунду.

Но катодные лучи образуются, какъ извѣстно, въ сильно разрѣженномъ газѣ, когда съ помощію заключающей его трубки производятъ замыканіе цѣпи, въ которую входитъ вторичная обмотка румкорфова индуктора. Не существуетъ-ли, однако, способа произвести въ воздухѣ даже при обыкновенномъ давленіи нѣчто подобное потоку катодныхъ лучей? Такой способъ суще-

---

[1]) Сообщеніе, сдѣланное 11 Ноября 1900 г. въ Варшавскомъ Кружкѣ преподавателей физики и математики.

ствуетъ: для этого слѣдуетъ только произвести непрерывный электрическій разрядъ чрезъ остріе, и тогда въ полѣ послѣдняго возникаетъ движеніе электричества, дѣйствія котораго имѣютъ много общаго съ тѣмъ, что наблюдается въ круксовскихъ трубкахъ. Въ нижеслѣдующихъ строкахъ читатель найдетъ доказательства этого сходства между указанными явленіями.

Прежде, чѣмъ приступить къ изложенію намѣченныхъ вопросовъ, считаю долгомъ обратить вниманіе читателя на то, что явленія, которыя я буду здѣсь описывать, обнаруживаются въ ясной формѣ лишь тогда, когда остріе, разряжающее кондукторъ машины, находится изолированнымъ въ воздухѣ, не имѣя въ сосѣдствѣ съ собою ни проводниковъ, ни непроводниковъ электричества. Такая установка острія лучше всего достигается подвѣшиваніемъ его въ воздухѣ на какихъ-нибудь тонкихъ непроводящихъ нитяхъ, напр., на пропитанныхъ парафиномъ шелковинкахъ.

Итакъ, будемъ предполагать, что остріе находится въ воздухѣ при обыкновенномъ давленіи и не имѣетъ вблизи себя никакого посторонняго тѣла. Если сообщать острію электрическій зарядъ, то съ помощію чувствительнаго электроскопа или гальванометра легко убѣдиться, что въ полѣ совершается непрерывное движеніе электричества отъ острія ко всѣмъ предметамъ, находящимся въ соединеніи съ землею. Это заключеніе вытекаетъ изъ того, что электроскопъ получаетъ зарядъ, по знаку тождественный съ зарядомъ на остріѣ, а—при употребленіи гальванометра—по обмоткѣ послѣдняго начинаетъ циркулировать токъ, когда одинъ конецъ цѣпи съ гальванометромъ соединенъ съ землею, а другой или введенъ внутрь изолированнаго пламени, или просто соединенъ съ какимъ-нибудь изолированнымъ проводникомъ. Что электроскопъ въ полѣ острія заряжается не вслѣдствіе индукціи, это слѣдуетъ, во-первыхъ изъ того, что — послѣ прекращенія испусканія остріемъ электричества въ поле—зарядъ на электроскопѣ сохраняется, во-вторыхъ изъ того, что если вносить въ поле острія электроскопъ, которому предварительно былъ сообщенъ электрическій зарядъ противоположный по знаку заряду на остріѣ, то электроскопъ быстро теряетъ свой зарядъ и пріобрѣтаетъ новый, одноименный съ зарядомъ на остріѣ; величина этого заряда зависитъ не только отъ разстоянія электроскопа отъ острія, но и отъ положенія электроскопа въ той или другой части поля.

Но самое убѣдительное доказательство того, что въ полѣ заряженнаго острія совершается чрезъ посредство чего-то дѣйствительное движеніе свободнаго электричества, даетъ явленіе, получившее названіе *электрической тѣни.* Гольцъ и вслѣдъ за нимъ другіе изслѣдователи получали это явленіе, производя разряженіе чрезъ остріе отрицательно наэлектризованнаго кондуктора электрофорной машины, когда кондукторъ той же машины, заряжаемый положительнымъ электричествомъ, былъ снабжаемъ металлическимъ дискомъ, обращеннымъ своею плоскою поверхностію къ острію и покрытымъ кускомъ шелковой матеріи; если въ промежутокъ между остріемъ и дискомъ внесено какое-нибудь тѣло, то на поверхности диска и получается своеобразная тѣнь отъ этого предмета.

Гольцъ полагалъ, что электрическія тѣни производятся только остріемъ, заряженнымъ отрицательнымъ электричествомъ, и что тѣни способны давать только проводники. Но легко убѣдиться, что электрическую тѣнь можно получитъ отъ всякаго предмета и даже отъ острія, заряженнаго положительнымъ электричествомъ, если только въ качествѣ экрана, на который воспринимается тѣнь, пользоваться флуоресцирующимъ экраномъ, употребляемымъ въ настоящее время при работахъ съ X-лучами. Такой экранъ въ полѣ заряженнаго острія свѣтится довольно ярко. Свѣченіе экрана дѣлается еще рѣзче, когда его наэлектризовываютъ электричествомъ обратнаго знака электрическому заряду на остріѣ.

Форма электрической тѣни представляетъ существенное отличіе отъ тѣни, образуемой свѣтящими лучами. Въ электрической тѣни прежде всего бросается въ глаза то, что заостренныя части предмета представляются всегда въ утолщенной и закругленной формѣ. Такъ, напр., сдѣланная изъ проволоки звѣзда даетъ тѣнь въ формѣ лепестковъ цвѣтка, конецъ тонкой иглы—въ формѣ грушевиднаго утолщенія и т. д. Лишь только маленькій шарикъ, центръ котораго лежитъ на продолженіи оси острія, даетъ тѣнь сферической формы; всякій же другой предметъ даетъ тѣнь, не отвѣчающую геометрической формѣ его контуровъ. Кромѣ того размѣры тѣни при нѣкоторыхъ условіяхъ оказываются больше размѣровъ свѣтовой тѣни, при другихъ условіяхъ — меньше. Отсюда ясно слѣдуетъ, что электрическія тѣни образуются движеніемъ нѣкотораго агента по криволинейнымъ траекторіямъ такъ что было бы ошибочно приписывать наэлектризованному

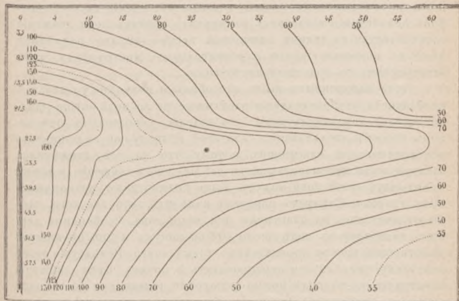
острію способность испускать несвѣтящіе лучи, по своей природѣ тождественные съ свѣтящими лучами, и въ нихъ усматривать причину образованія электрическихъ тѣней.

Такимъ образомъ не можетъ подлежать сомнѣнію тотъ фактъ, что заряженное остріе производитъ въ своемъ полѣ дѣйствительное движеніе чего-то такого, что несетъ вмѣстѣ съ собою и электрическій зарядъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ становится понятнымъ и то, что находящійся въ полѣ изолированный проводникъ наэлектризовывается потому, что онъ все время, если позволительно такъ выразиться, омывается струями этого движущагося агента. Самъ собою здѣсь возникаетъ вопросъ, совершается-ли это движеніе только въ ограниченной части поля, и если нѣтъ, то не характеризуются-ли различныя части поля какими-нибудь особенностями. Къ числу такихъ особенностей можетъ принадлежать, напр., различіе въ количествѣ электричества, протекающаго въ единицу времени чрезъ площадку въ 1 □ cm., поставленную нормально къ линіямъ тока, различіе въ скорости движенія наэлектризованныхъ частицъ и т. д.

Если пользоваться флуоресцирующимъ экраномъ и помѣщать его въ различныхъ частяхъ поля, то опытъ показываетъ, что части поля не одинаковы въ отношеніи способности возбуждать свѣченіе экрана. Оказывается, что въ нѣкоторой части поля экранъ свѣтится особенно ярко, въ другихъ частяхъ, напротивъ, свѣченіе совершенно прекращается. Послѣднее происходитъ тогда, когда плоскость экрана поставлена параллельно оси острія и сдвинута въ сторону тупого его конца. Если же прямая линія, проведенная отъ остраго конца острія перпендикулярно къ оси послѣдняго, встрѣчаетъ плоскость экрана около его средины, то свѣченіе экрана дѣлается болѣе яркимъ. Это же можно констатировать и съ помощью гейслеровой или плюкеровой трубки, которая въ полѣ острія ярко свѣтитъ, если она однимъ своимъ электродомъ обращена къ острію, а другой ея электродъ находится въ соединеніи съ землею. Свѣченіе трубки дѣлается наиболѣе интенсивнымъ, когда она своею осью совпадаетъ съ прямою линіею, перпендикулярною къ оси острія и проходящею чрезъ его острый конецъ.

Уже описанныя явленія показываютъ, что разныя части электрическаго поля острія не однородны, что въ однѣхъ частяхъ поля движется большее количество электричества, въ другихъ — меньшее, такъ что необходимо различать участки поля по вели-

чинѣ движущихся въ нихъ электрическихъ массъ. И дѣйствительно, насколько различны въ этомъ отношеніи различные участки поля, можно судить по прилагаемому здѣсь чертежу (фиг. 1). На немъ вычерчены линіи одинаковыхъ потенціаловъ (выраженныхъ сотнями вольтовъ) какъ величинъ, пропорціональныхъ тѣмъ зарядамъ, которые получалъ небольшой латунный изолированный цилиндрикъ въ полѣ острія, заряженнаго отрицательнымъ



(фиг. 1).

электричествомъ до потенціала 17600 вольтовъ. При производствѣ такихъ измѣреній были приняты во вниманіе всѣ необходимыя предосторожности относительно того, чтобы на способъ распространенія электричества въ полѣ острія не было постороннихъ вліяній.

Чтобы составить вполнѣ ясную картину способа распространенія электричества во всемъ полѣ, слѣдуетъ только представить себѣ всѣ изображенныя на чертежѣ изопотенціальныя линіи, повернутыми на уголъ въ 360° вокругъ оси острія. Составленная такимъ образомъ картина происходящаго въ полѣ движенія электричества приводитъ къ заключенію, что, вопервыхъ, электрическія массы дѣйствительно движутся по криволинейнымъ траекторіямъ, указаніе на что извлекается также изъ

наблюденій формы электрическихъ тѣней; во-вторыхъ, что наибольшее количество электричества протекаетъ въ полѣ совсѣмъ не въ той части, гдѣ дуетъ „электрическій вѣтеръ", а по направленію перпендикулярному къ острію. Любопытно, что эта часть поля представляетъ какъ бы расходящійся во всѣ стороны отъ острія электрическій ручей, почему мы и дали ему названіе электрическаго потока. Этотъ потокъ можно прослѣдить электроскопомъ съ золотыми листочками даже на разстояніи въ 4—5 метровъ отъ острія, тогда какъ въ другихъ частяхъ поля движеніе электричества на такомъ разстояніи весьма трудно подмѣтить даже съ помощью такого чувствительнаго инструмента, какъ электроскопъ съ золотыми листочками.

Хотя изложеннымъ выше способомъ и возможно установить особенности распространенія электричества въ полѣ острія, однако детали, характеризующія это явленіе, ускользаютъ при такомъ способѣ изслѣдованія. Для этой цѣли лучше пользоваться фотографическою пластинкою, потому что на ней движущіяся электрическія массы оставляютъ слѣды своего движенія, и форма отдѣльныхъ линій тока можетъ быть видима даже невооруженнымъ глазомъ. Слѣдуетъ впрочемъ замѣтить, что для того, чтобы отпечатались на пластинкѣ эти линіи тока, необходимо держать пластинку въ полѣ около 40—60 минутъ и при проявленіи дѣйствовать на нее проявителемъ также долго. Вслѣдствіе этого пластинку приходиться перепроявлять и потому пути движенія электричества въ полѣ можно усмотрѣть только при достаточно сильномъ освѣщеніи. Эти пути обыкновенно представляются въ формѣ тончайшихъ черныхъ штриховъ.

Свойство фотографической пластинки зарегистровывать пути движенія электричества въ полѣ заряженнаго острія оказывается особенно полезнымъ въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется экспериментально выяснить какъ внесенный въ поле предметъ вліяетъ на распространеніе электричества. Для этого слѣдуетъ фотографическую пластинку помѣстить рядомъ съ предметомъ, или еще лучше положить предметъ прямо на пластинку. Подъ дѣйствіемъ движущагося въ полѣ электричества на пластинкѣ вмѣстѣ съ линіями тока электричества получается отпечатокъ контуровъ того предмета, который помѣщался на пластинкѣ во время экспозиціи, хотя бы онъ и не лежалъ непосредственно на самой свѣточувствительной пленкѣ. Въ послѣднемъ случаѣ отпечатокъ контуровъ предмета и линій тока электричества вбли-

зи послѣдняго получается на внутренней сторонѣ желатиновой пленки. Въ виду этого очевидно, что тончайшіе штрихи на пластинкѣ нельзя разсматривать, какъ пути движенія заряженныхъ частицъ воздуха.

Дѣйствія наэлектризованнаго острія на фотографическую пластинку безспорно есть дѣйствіе электролитическое, состоящее въ распаденіи частицъ бромосеребренной соли на іоны. Получающіеся такимъ способомъ іоны должны, конечно, испытывать со стороны движущихся вблизи ихъ электрическихъ массъ дѣйствіе электростатическаго притяженія или отталкиванія, вслѣдствіе котораго іоны получаютъ стремленіе двигаться поступательно съ тою же скоростію, съ которою совершается движеніе въ полѣ самихъ электрическихъ массъ. Не механическимъ-ли удаленіемъ частицъ серебра съ поверхностнаго слоя желатиновой пленки объясняются нерѣдко наблюдавшіяся нами на проявленныхъ пластинкахъ свѣтлыя крапинки продолговатой формы въ такихъ мѣстахъ, въ которыхъ, судя по степени черноты, разложеніе на іоны частицъ бромосеребренной соли было произведено весьма сильно, а направленіе крапинокъ совпадало съ направленіемъ линій тока отрицательнаго электричества? Возможно, что и отъ того, тѣмъ болѣе, что въ пользу подобнаго допущенія говоритъ еще удивительное явленіе механическаго дѣйствія электрическаго потока на діэлектрикъ. Явленіе состоитъ въ томъ, что если въ потокъ электричества (т. е. въ ту часть поля, гдѣ совершается движеніе наибольшаго количества электричества) внести діэлектрикъ какой угодно формы, а вблизи его помѣстить металлическое остріе, соединенное съ землею, то діэлектрикъ приходитъ въ быстрое вращеніе. Вращеніе діэлектрика совершается и тогда, когда онъ утвержденъ непосредственно на соединенномъ съ землею остріѣ.

Впрочемъ слѣдуетъ замѣтить, что и подвѣшенный на шелковинкѣ діэлектрикъ также способенъ приходить во вращеніе вблизи наэлектризованнаго острія. Но такой діэлектрикъ вращается лишь тогда, когда онъ расположенъ нѣсколько выше или ниже оси острія и на разстояніи отъ него, не превышающемъ 8 cm. Между тѣмъ діэлектрикъ, укрѣпленный на металлическомъ остріѣ, неизолированномъ, можетъ при извѣстныхъ условіяхъ вращаться подъ дѣйствіемъ электрическаго потока на разстояніяхъ отъ острія даже въ 70—80 cm.

Условіемъ для полученія интенсивныхъ вращеній діэлектри-

ка въ полѣ острія служитъ главнымъ образомъ измѣненіе физическихъ свойствъ діэлектрика, которое онъ получаетъ, находясь въ полѣ острія. Внѣшнимъ образомъ это проявляется въ томъ, что при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ скорость вращенія возрастаетъ и тѣмъ больше, чѣмъ продолжительнѣе длится самый опытъ. Мы дали этому явленію названіе „формированія діэлектрика", заимствуя это названіе изъ электротехники, гдѣ подъ именемъ „формированіе" разумѣется извѣстный пріемъ для увеличенія емкости пластинъ аккумулятора. Въ чемъ же заключается сущность этого формированія діэлектрика?

Многочисленными опытами удалось установить, что это явленіе не зависитъ ни отъ вещества діэлектрика, ни отъ его формы, ни отъ интенсивности развиваемаго остріемъ въ полѣ электрическаго потока, ни отъ величины электрическаго заряда, возникающаго на поверхности діэлектрика, но зависитъ отъ свойства діэлектрика сравнительно легче проводить электричество. Это заключеніе вытекаетъ изъ слѣдующаго опыта. Если на поверхности діэлектрика, помѣщеннаго въ полѣ острія, осаждать частицы дыма, полученнаго отъ сгоранія растительныхъ волоконъ, то діэлектрикъ тотчасъ же пріобрѣтаетъ громадныя скорости вращенія, выражающіяся числомъ нѣсколькихъ сотенъ оборотовъ въ минуту. Пока на поверхности діэлектрика не осаждены вмѣстѣ съ частицами дыма и прочіе продукты горѣнія въ достаточномъ количествѣ, поверхность діэлектрика оказывается весьма сильно заряженною электричествомъ одного знака съ зарядомъ на остріѣ. Но когда бываетъ осаждено на діэлектрикѣ достаточное количество продуктовъ горѣнія и поверхность діэлектрика пріобрѣтетъ вслѣдствіе этого блестящій видъ, то электризація поверхности совершенно исчезаетъ и діэлектрикъ оказывается теряющимъ способность наэлектризовываться, хотя бы этой цѣли и стремились достигнуть многіе часы. Не смотря на то, вращеніе діэлектрика продолжаетъ совершаться ничуть не медленнѣе.

Частью на основаніи опытовъ, подобныхъ приведеннымъ, частью на основаніи другихъ наблюденій, въ описаніе которыхъ было бы излишне здѣсь вдаваться, я полагаю, что вліяніе осажденія на діэлектрикъ продуктовъ горѣнія вмѣстѣ съ частицами угля заключается не только въ томъ, что электропроводимость поверхностнаго слоя діэлектрика въ значительной степени повышается, но и въ томъ, что и прочія частицы въ массѣ

діэлектрика, расположенныя вдоль линій, перпендикулярныхъ къ оси вращенія, образуютъ собою также проводящія нити, вдоль которыхъ и можетъ совершаться движеніе электричества съ одной стороны отъ острія, соединеннаго съ землею, съ другой стороны движеніе электрическихъ массъ, образующихъ потокъ противоположнаго по знаку электричества, изъ поля чрезъ остріе въ землю.

Въ свободномъ отъ посторонняго предмета полѣ направленіе вращенія діэлектрика подчиняется слѣдующему правилу. Если вообразимъ наблюдателя, смотрящаго вдоль оси заряженнаго острія по направленію отъ его тупого конца къ острому, и назовемъ правою частью поля весь участокъ его, расположенный по правую сторону воображаемаго наблюдателя, а по лѣвую сторону—лѣвою частью поля, то въ правой части вращеніе совершается всегда по часовой стрѣлкѣ, а въ лѣвой части—противъ часовой стрѣлки. Это правило въ одинаковой мѣрѣ приложимо какъ къ тому случаю, когда остріе заряжается отрицательнымъ электричествомъ, такъ и къ тому, когда остріе заряжается положительнымъ электричествомъ. Никакихъ исключеній изъ этого правила въ свободномъ полѣ не наблюдается.

Но если въ поле введенъ посторонній предметъ, то въ способѣ распространенія электричества тамъ наблюдается образованіе отдѣльныхъ вѣтвей. Вносимый въ эти вѣтви діэлектрикъ получаетъ вращенія, направленіе которыхъ зависитъ отъ того, которая половина діэлектрика подвергается болѣе сильному дѣйствію электрическихъ вѣтвей. Поэтому понятно, что при данныхъ условіяхъ даже и въ правой части поля можно наблюдать вращенія, совершающіяся противъ часовой стрѣлки, и, наоборотъ, въ лѣвой части поля—вращенія по часовой стрѣлкѣ. А такъ какъ внесеніемъ въ поле нѣсколькихъ предметовъ можно въ значительной степени видоизмѣнить здѣсь способъ распространенія электричества, то вмѣстѣ съ тѣмъ можно получить вращенія діэлектрика не только аномальныя по своему направленію, но и въ такихъ точкахъ поля, въ которыхъ при обыкновенныхъ условіяхъ вращеніе не происходитъ.

Какъ уже сказано выше, діэлектрикъ, утвержденный на соединенномъ съ землею металлическомъ остріѣ, приходитъ во вращеніе, когда онъ вносится въ электрическій потокъ, возбуждаемый въ полѣ наэлектризованнымъ остріемъ, другими словами, въ тотъ сравнительно узкій участокъ поля, который примыкаетъ непосредственно къ острому концу острія и направленъ перпен-

дикулярно къ оси послѣдняго. Въ этомъ участкѣ поля діэлектрикъ получаетъ самыя интенсивныя вращенія, когда ось острія, ось вращенія діэлектрика и линія, соединяющая послѣднюю съ острымъ концомъ острія, пересѣкаются другъ съ другомъ подъ прямыми углами и когда ось вращенія перпендикулярна къ плоскости, заключающей въ себѣ двѣ остальныя линіи. Если же это условіе не соблюдается, то скорость вращенія дѣлается меньше и тѣмъ меньше, чѣмъ больше уголъ, образуемый осью вращенія съ упомянутою плоскостью, уклоняется отъ прямого.

Описывая опыты съ діэлектрикомъ, я до сихъ поръ указывалъ только на то, что вращенія діэлектрика и образующійся въ полѣ наэлектризованнаго острія потокъ электричества находятся другъ съ другомъ въ причинной связи. Теперь скажу нѣсколько словъ по поводу этой связи.

Существуетъ нѣсколько способовъ привести діэлектрикъ во вращеніе въ электрическомъ полѣ. Такъ, напр., Квинке показалъ, что если заряжаемыя пластинки конденсатора погружены въ такую жидкость, какъ эфиръ, бензолъ, растворъ терпентиннаго масла въ сѣроуглеродѣ, то помѣщенный въ промежуткѣ между пластинками конденсатора твердый діэлектрикъ совершаетъ вращенія. Вызванныя этимъ открытіемъ Квинке какъ теоретическія, такъ и экспериментальныя изслѣдованія выяснили, что вращеніе здѣсь возникаетъ потому, что вслѣдствіе проводимости жидкости—діэлектрикъ получаетъ на своей поверхности электрическіе заряды, на которые электрическая сила поля дѣйствуетъ отталкивающимъ образомъ. Возможно-ли объяснять такимъ же образомъ и вращеніе діэлектрика въ полѣ заряженнаго острія? Несомнѣнно, что нѣкоторая часть дѣйствія на діэлектрикъ принадлежитъ силѣ отталкиванія, исходящей отъ заряженнаго острія, но главную причину вращеній діэлектрика слѣдуетъ усматривать въ дѣйствіи электрическаго потока на тѣ электрическія массы, которыя совершаютъ движенія вдоль проводящихъ матеріальныхъ нитей діэлектрика. Въ самомъ дѣлѣ, говоря выше о формированіи діэлектрика, мы уже указали на то, что съ большою вѣроятностью можно разсматривать матеріальныя нити діэлектрика, какъ проводники, по которымъ совершается съ одной стороны движеніе электричества отъ острія, соединеннаго съ землею, съ другой стороны движеніе электричества отъ заряженнаго острія въ землю. Дѣйствіе заряженнаго острія на такія нити приводится, слѣдовательно, къ силамъ и

притяженія, и отталкиванія, почему на счетъ этихъ силъ и возможно получить интенсивныя вращенія діэлектрика, которыя, какъ уже было сказано выше, могутъ наблюдаться въ дѣйствительности и на довольно значительныхъ разстояніяхъ отъ острія. Такъ какъ кромѣ того при нѣкоторыхъ условіяхъ возможно заставить діэлектрикъ вращаться со скоростью свыше тысячи оборотовъ въ минуту, то и становится очевиднымъ, что при объясненіи этого явленія необходимо принимать во вниманіе и тѣ электрическія силы, которыя исходятъ отъ электрическихъ массъ, движущихся въ полѣ. Эти силы, приложенныя къ нитямъ діэлектрика, приводятся также къ электростатическому притяженію и отталкиванію, но онѣ дѣйствуютъ согласно и стремятся сообщить нитямъ ту поступательную скорость, съ которою совершается движеніе электрическихъ массъ въ полѣ. Я полагаю, что только такое объясненіе и можно дать явленію вращенія діэлектрика въ полѣ заряженнаго острія, потому что при такомъ объясненіи становятся вполнѣ понятными всѣ особенности этого явленія. Слѣдовательно, можно разсматривать вращеніе діэлектрика въ полѣ острія, какъ явленіе аналогичное вращенію мельницы въ круксовыхъ трубкахъ подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей. Вся разница между этими аналогичными явленіями состоитъ только въ томъ, что механическое дѣйствіе катодныхъ лучей происходитъ вслѣдствіе давленія ихъ на лопасти мельницы.

Итакъ, явленія, характеризующія электрическій разрядъ чрезъ остріе, составляютъ: наэлектризованіе изолированнаго проводника, помѣщеннаго въ полѣ, свѣченіе флуоресцирующаго экрана, на которомъ можно получать электрическія тѣни отъ предметовъ, поставленныхъ въ промежуткѣ между нимъ и остріемъ, дѣйствіе на свѣточувствительный слой фотографической пластинки съ отпечаткомъ на ней линій тока электричества, движущагося въ полѣ, образованіе въ полѣ потока, способнаго приводить діэлектрикъ во вращеніе. Сравнимъ теперь эти свойства электрическаго разряда съ острія со свойствами потока катодной матеріи и мы убѣдимся, что между тѣмъ и другимъ явленіемъ существуетъ большое сходство. Въ самомъ дѣлѣ, катодные лучи заряжаютъ изолированный проводникъ отрицательнымъ электричествомъ; катодные лучи возбуждаютъ весьма яркое свѣченіе флуоресцирующихъ тѣлъ; подъ дѣйствіемъ ихъ, какъ извѣстно, даже стекло трубки сильно свѣтится желтовато-зеленымъ свѣтомъ; катодные лучи даютъ тѣнь отъ того предмета, кото

рый они встрѣчаютъ на своемъ пути; катодные лучи способны дѣйствовать механически на легко подвижное тѣло и приводить его или во вращеніе, или катить по направленію своего распространенія; катодные лучи дѣйствуютъ и на фотографическую пластинку, какъ показалъ это профессоръ Де-Метцъ. Такимъ образомъ аналогія между тѣми и другими явленіями дѣйствительно существуетъ.

Но если внѣшнія проявленія движущихся въ полѣ острія электрическихъ массъ оказываются похожими на свойства катодныхъ лучей, то возникаетъ вопросъ: не имѣетъ-ли сходства и даже не тождественна-ли и самая природа носителя электрическихъ зарядовъ въ полѣ наэлектризованнаго острія съ природою катодныхъ лучей? Новѣйшія изслѣдованія показали, что послѣдніе образуются быстро движущимися (со скоростью въ нѣсколько десятковъ тысячъ километровъ въ секунду) матеріальными частичками (массы коихъ въ 700—1000 разъ меньше массы атомовъ водорода), заряженными отрицательно. Относительно способа распространенія электричества въ полѣ заряженнаго острія можно сдѣлать нѣсколько предположеній. Можно усматривать этотъ способъ или въ томъ, что частицы воздуха, наэлектризовавшись чрезъ соприкосновеніе съ остріемъ, передаютъ свой зарядъ отъ частицы къ частицѣ при ударѣ ихъ другъ о друга, или въ томъ, что частицы воздуха подъ дѣйствіемъ электрической силы распадаются на отдѣльные іоны, какъ это совершается при прохожденіи электрическаго тока чрезъ электролитъ, или, наконецъ, въ томъ, что въ атмосферномъ воздухѣ уже существуютъ частицы нѣкоторой первичной матеріи, которыя и совершаютъ въ полѣ движеніе вдоль его силовыхъ линій. Которое изъ этихъ предположеній согласуется съ дѣйствительностью, можетъ рѣшить только опытъ. Рѣшеніе этого вопроса экспериментальнымъ путемъ не представляло бы никакого труда, если бы движущіяся въ полѣ острія заряженныя частицы замѣтно отклонялись магнитомъ. Въ этомъ случаѣ слѣдовало бы только измѣрить отклоненія, претерпѣваемыя частицами, отъ своего первоначальнаго направленія подъ дѣйствіемъ магнитной и электрической силъ, и тогда можно было бы вычислить какъ скорость, съ которою эти частицы движутся, такъ и числовую величину отношенія электрическаго заряда, несомаго частицею, къ ея массѣ [1]. Къ

[1] Этотъ методъ подробно изложенъ въ статьѣ проф. *П. А. Зилова* „Катодные лучи"; см. *Физическое Обозрѣніе*, т. 1 (1900 г.), стр. 56.

сожалѣнію, дѣйствіе магнита на движущіяся въ полѣ острія заряженныя частицы не проявляется въ ясной формѣ, по крайней мѣрѣ при тѣхъ скромныхъ инструментальныхъ средствахъ, которыя находятся въ моемъ распоряженіи; и мнѣ до сихъ поръ не удалось съ несомнѣнностью констатировать это дѣйствіе. Поэтому для нахожденія искомыхъ величинъ приходится прибѣгнуть къ другимъ способамъ, которые сопряжены съ спеціальною экспериментальною обстановкою, вслѣдствіе чего самый вопросъ пока и остается еще открытымъ, не смотря на всю его научную важность.

Тѣмъ не менѣе существуютъ косвенныя указанія на то, что если движущіяся въ полѣ острія заряженныя частицы по своей природѣ и не тождественны съ природою частичекъ, образующихъ катодные лучи, то по крайней мѣрѣ существуютъ между ними нѣкоторыя черты сходства. Еще Герцъ замѣтилъ, что катодные лучи обладаютъ способностью проникать чрезъ тонкіе слои алюминія. Пользуясь этимъ свойствомъ алюминія, Ленардъ выпустилъ, какъ извѣстно, катодные лучи изъ круксовской трубки во внѣшнее пространство, и изслѣдовалъ ихъ здѣсь. Съ другой стороны проф. Де-Метцъ показалъ, что катодные лучи обладаютъ способностью проникать чрезъ тонкіе слои и другихъ твердыхъ тѣлъ. Аналогичныя описаннымъ свойства обнаруживаютъ и движущіяся въ полѣ острія заряженныя частицы. Если именно въ полѣ заряженнаго острія держать фотографическую пластинку въ закрытой наглухо кассеткѣ, то при проявленіи пластинка все-таки чернѣетъ. Этотъ опытъ вполнѣ аналогиченъ опыту проф. Де-Метца съ катодными лучами.

Другой опытъ, который можно произвести съ наэлектризованнымъ остріемъ, состоитъ въ слѣдующемъ. Если электроскопъ съ золотыми листочками зарядить электричествомъ, по знаку противоположнымъ электрическому заряду на остріѣ, поставить на металлической пластинкѣ, отведенной къ землѣ, накрыть сверху цилиндромъ изъ металлической сѣтки съ весьма малыми отверстіями и дѣйствовать на электроскопъ центральною частью электрическаго потока, то электроскопъ—даже при удаленіи своемъ отъ острія на разстояніе свыше одного метра—быстро теряетъ свой зарядъ. Замѣчательно, что въ этомъ опытѣ электроскопъ разряжается также тогда, когда сѣтчатый цилиндръ замѣняютъ тонкостѣннымъ глухимъ металлическимъ цилиндромъ.

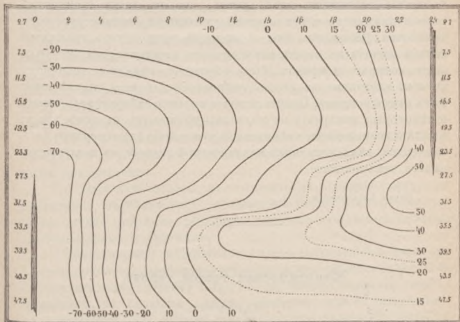
Такимъ образомъ послѣдній опытъ вполнѣ аналогиченъ опыту Герца и Ленарда.

Позволительно думать, что эти аналогіи не случайны, и въ пользу этого говоритъ не только то, что́ извлекается изъ изученія совершающагося въ полѣ заряженнаго острія электрическаго процесса, но и разрабатываемыя въ настоящее время теоріи, въ основѣ которыхъ лежитъ допущеніе, что въ электрическихъ процессахъ играетъ весьма большую роль нѣкоторая особая матерія. Но если это только дѣйствительно справедливо, то приходится заключить, что эта матерія является, какъ неизбѣжный спутникъ всякой другой матеріи, и опредѣляетъ собою электрическія, электрооптическія и другія свойства послѣдней. Этотъ матеріальный агентъ, играющій вообще въ жизни природы громадную роль, не уловимъ съ помощью обыкновенныхъ способовъ, но нѣкоторое представленіе о немъ мы однако имѣемъ возможность составить на основаніи изученія свойствъ электрическаго разряда.

Элементами, опредѣляющими природу и кинетическое состояніе движущихся въ полѣ наэлектризованнаго острія заряженныхъ тѣлецъ, какъ сказано выше, служатъ величина отношенія электрическаго заряда, несомаго тѣльцомъ, къ его массѣ и скорость движенія. Относительно послѣдняго элемента, на основаніи нѣкоторыхъ соображеній и указаній опыта, можно думать, что величина скорости тѣльца въ полѣ острія, находящагося въ атмосферномъ воздухѣ, едва-ли ниже 10^5 cm/sec. Поэтому можно-ли удивляться тому, что наэлектризованное остріе производитъ электрическій вѣтеръ, и тому, что въ полѣ острія діэлектрикъ можетъ вращаться со скоростью нѣсколькихъ сотенъ оборотовъ въ теченіе одной минуты. Въ заключеніе настоящей статьи мы покажемъ, что въ спеціально устроенныхъ двигателяхъ съ остріями можно получить вращеніе діэлектрическаго якоря со скоростью даже въ 3—4 тысячи оборотовъ въ минуту, хотя бы самъ якорь и имѣлъ вѣсъ около 1·5 фунта.

Діэлектрикъ, помѣщенный въ промежуткѣ между остріями, расположенными такъ, какъ показано на чертежѣ второмъ, вращается со скоростью свыше тысячи оборотовъ въ минуту, когда ось вращенія его лежитъ на линіи, соединяющей концы острій, и перпендикулярна къ плоскости, заключающей въ себѣ оси послѣднихъ. При этомъ опытъ показываетъ, что разница въ скоростяхъ вращенія незначительна, когда производится заряженіе

только одного острія, а другое отводится къ землѣ, или когда оба острія заряжаются разноименными электричествами. Въ послѣднемъ случаѣ о мѣстахъ наиболѣе интенсивнаго теченія электричества положительнаго и отрицательнаго между остріями и даетъ понятіе фиг. 2. Отсюда ясно, что если на одной оси насадить большое число діэлектрическихъ кружковъ съ небольшимъ промежуткомъ между ними и помѣстить такую ось между металлическими гребенками, имѣющими столько острій, сколько



фиг. 2.

находится кружковъ на оси, то между гребенками, острія которыхъ расположены такъ же, какъ на фигурѣ второй, ось съ кружками должна вращаться весьма быстро.

Осуществляя такую модель, я получилъ настоящій электростатическій двигатель. При зарядкѣ гребенокъ съ помощью небольшой фоссовой машины до разности потенціаловъ въ 25 тысячъ вольтъ, свободный якорь модели вращался со скоростью 4500 оборотовъ въ минуту, а когда его заставили вращать вмѣстѣ съ собою еще якорь маленькой динамомашинки, то онъ всетаки вращался со скоростью около 2700 оборотовъ въ минуту.

Замѣтимъ, что въ послѣднемъ опытѣ вращающіеся съ такою громадною скоростью якори двигателя и динамомашины имѣли общій вѣсъ около двухъ фунтовъ.

Описанная модель электростатическаго двигателя съ остріями можетъ служить прекрасною иллюстраціею дѣйствія наэлектризованнаго острія на діэлектрикъ. Она же можетъ служить иллюстраціею и превращенія другихъ видовъ энергіи въ механическую чрезъ посредство статическаго электричества. Мало того, мы позволяемъ себѣ думать, что она даетъ доказательство возможности и технической утилизаціи статическаго электричества. Вспомнимъ, что въ природѣ существуетъ громадный запасъ энергіи въ формѣ атмосфернаго электричества, на утилизацію котораго и можетъ быть обращено вниманіе техниковъ. Опыты, сдѣланные въ этомъ направленіи, должны вполнѣ выяснить этотъ вопросъ. Произведенные же мною лабораторные опыты и нѣкоторыя измѣренія на моделяхъ убѣждаютъ въ томъ, что въ мысли о возможности технической утилизаціи атмосфернаго электричества, какъ источника механической энергіи, не заключается ничего невѣроятнаго.

Новая Александрія, 1901.

Кинетическая теорія газовъ

Э. Варбурга [1]).

Когда мы ищемъ познать то, что недоступно нашимъ чувствамъ, то скоро достигаемъ границъ, по другую сторону которыхъ нельзя найти отвѣтовъ на вопросы. Такъ мы можемъ испытывать упругость, твердость, пористость нашихъ матеріаловъ; но внутреннее строеніе тѣлъ, изъ коего вытекали бы наблюдаемыя свойства, какъ необходимыя слѣдствія, остается сокрытымъ

[1]) Переводъ съ нѣмецкаго: Ueber die kinetische Theorie der Gase. Festrede, gehalten am Stiftungstage der Kaiser Wilhelms-Akademie für das Militärärztliche Bildungswesen, 2 Dec. 1900, von *E. Warburg*, Prof. an d. Universität Berlin.

для насъ. И все-таки въ человѣкѣ живетъ стремленіе познать сущность вещей. Возникающее при этомъ столкновеніе между желаемымъ и достижимымъ разрѣшается только искуственно. Дѣйствительно, человѣческій духъ всегда находитъ удовлетвореніе, создавая образы непостижимаго и непонятнаго; концепція такихъ образовъ принадлежитъ, можетъ быть, къ величайшимъ проявленіямъ человѣческаго искуства. Къ такимъ образамъ надо причислить и тѣ представленія, который составляются о строеніи тѣлъ и о происходящихъ въ нихъ процессахъ; знаменательно, что одинъ изъ старѣйшихъ подобныхъ образовъ, именно *атомистическое представленіе*, встрѣчается еще въ стихотвореніяхъ Лукреція. Подобный образъ составили себѣ Блэкъ, Вильке и др., полагая, что теплота есть невѣсомая матерія, входящая въ тѣла при ихъ нагрѣваніи, а также Ньютонъ, когда онъ представлялъ себѣ, что свѣтящій лучъ состоитъ изъ мельчайшихъ тѣлецъ, летящихъ съ громадною скоростью.

Оба эти образа были впослѣдствіи оставлены, такъ какъ обнаружилось слишкомъ большое несходство ихъ съ изображаемыми оригиналами.

Но даже и тѣ образы, въ которыхъ не открыто такихъ недостатковъ, не болѣе какъ произведенія нашей фантазіи; въ лучшемъ случаѣ они лишь обладаютъ тѣми же свойствами, которыя мы наблюдаемъ у оригинала.

Удовлетвореніе, вызываемое такимъ совпаденіемъ, было вѣроятно причиною ошибочнаго заключенія, что образъ тождественъ съ оригиналомъ. Ошибка была бы не больше если бы, замѣтя поразительное сходство между румянымъ лицомъ женщины и ея портретомъ, мы вывели заключеніе, что оригиналъ есть намалеванная красота. Дѣйствительно, опредѣленное дѣйствіе можетъ быть произведено очень различными причинами. Напримѣръ, когда привязанная къ одному концу веревки баба то поднимается, то опускается, а другой конецъ веревки протянутъ въ закрытое зданіе и намъ не виденъ, такъ что мы не знаемъ, что̀ тянетъ эту веревку, то можно представить себѣ, что веревка приводится въ движеніе бо̀льшимъ или меньшимъ числомъ людей, или паровою машиною, или электродвигателемъ; всѣ три причины возможны и каждая вызывала бы наблюдаемое дѣйствіе; и вопросъ, которая изъ причинъ имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности, остается совершенно не разрѣшимымъ для того, которому нѣтъ доступа въ зданіе.

Не смотря на все это, указанные образы оправдываются и тогда даже, когда они лишь удовлетворяютъ потребность человѣческаго духа. Впрочемъ, будучи хорошо выбраны, эти образы даютъ гораздо больше: они становятся важнымъ средствомъ къ научному познанію. Конечно, образъ не прямо ведетъ къ цѣли научнаго изслѣдованія. Эта цѣль состоитъ въ нахожденіи соотношеній между различными явленіями природы, и достигается установленіемъ законовъ природы, т. е. положеній, обхватывающихъ большое число явленій природы. Такъ можно сказать, что всѣ явленія земного притяженія и движенія небесныхъ тѣлъ обнимаются ньютоновскимъ закономъ тяготѣнія. Максвелль нашелъ, что свѣтовой лучъ и электрическая волна распространяются съ одною и тою же скоростью и тѣмъ самымъ установилъ связь между электрическими и оптическими свойствами тѣлъ.

Когда удается составить хорошій образъ, соотношенія между наблюдаемыми свойствами тѣлъ совпадаютъ съ соотношеніями свойствъ образа. Если невидимое и трудно постижимое мы представляемъ себѣ въ образѣ видимаго и легко постижимаго, то способствуемъ нашему пониманію перваго. Такъ натянутая пружина служитъ хорошимъ образомъ заряженной лейденской банки и помогаетъ уясненію явленія разряда. При первоначальномъ проектированіи образа наша задача не можетъ итти далѣе того, чтобы наблюдаемыя свойства оригинала находились и въ образѣ. Но между свойствами образа всегда встрѣчаются и другія; тогда возникаетъ вопросъ, не откроются-ли они и въ оригиналѣ; это служитъ поводомъ къ изслѣдованіямъ, которыя, какъ показываетъ исторія физики, приводятъ къ весьма цѣннымъ результатамъ и выясняютъ новыя до тѣхъ поръ неизвѣстныя соотношенія. Волнообразная теорія свѣта есть тоже не что иное, какъ такой образъ; Максвелль открылъ свои уравненія электромагнитнаго поля опять-таки при помощи образа.

Послѣ сказаннаго мы не будемъ спорить съ тѣми, которые хотѣли бы изгнать „образы" изъ науки; конечно, мы предпочтемъ вовсе не имѣть портрета, чѣмъ имѣть плохой; портреты должны изготовляться лишь хорошими художниками; но оттого, что бываютъ плохіе портретисты, никто не станетъ отвергать портретную живопись.

Конечно существуютъ и иные пути изслѣдованія, отличающіеся большею достовѣрностью, и на которыхъ, пренебрегая

образами, пользуются наблюдаемыми явленіями, какъ неизмѣнными указателями. На гору ведетъ нѣсколько дорогъ; по одной восходятъ медленно, но безопасно; другая проложена по непроходимымъ мѣстамъ, по краямъ пропастей; кто по своимъ наклонностямъ чувствуетъ влеченіе къ такой дорогѣ, тотъ выберетъ ее, не страшась опасности и воодушевляясь надеждою открыть новыя и многообѣщающія точки зрѣнія.

Кинетическая теорія газовъ. Кинетическая теорія газовъ, составляющая предметъ моей бесѣды, есть „образъ" или механическая модель газообразнаго тѣла; этотъ образъ былъ намѣченъ Даніиломъ Бернулли и затѣмъ выполненъ Крёнигомъ, Клаузіусомъ, Максвеллемъ и Больцманомъ; этому образу мы обязаны значительнымъ расширеніемъ нашихъ свѣдѣній о свойствахъ газовъ.

Существуетъ нѣсколько видовъ этой модели; въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ онѣ сходны между собою, въ другихъ различны. Мы начнемъ съ старѣйшаго и простѣйшаго вида модели, которая даетъ слѣдующее представленіе о воздухѣ, наполняющемъ эту комнату. Пусть въ комнатѣ летаетъ по всѣмъ возможнымъ направленіямъ множество одинакихъ шариковъ; размѣры этихъ шариковъ примемъ столь малыми, что, несмотря на ихъ чрезвычайное множество, они, будучи сложены вмѣстѣ, занимаютъ исчезающе-малую часть комнаты; летая по всѣмъ направленіямъ, эти шарики взаимодѣйствуютъ только при столкновеніяхъ, при чемъ отскакиваютъ одинъ отъ другого, какъ совершенно упругіе билліардные шары; эти шарики отбрасываются отъ стѣнъ комнаты, какъ шары отражаются отъ бортовъ билліарда.

На первый взглядъ такой образъ нѣсколько страненъ, ибо онъ, повидимому, противорѣчитъ тому чувственному впечатлѣнію, которое мы получаемъ отъ покоющагося газа. Такому образу пришло время лишь тогда, когда матеріальная теорія тепла была совершенно отвергнута, и было доказано, что теплота есть форма энергіи, такъ что можетъ быть употребляема на совершеніе работы. Это повело далѣе къ заключенію, что содержащаяся въ тѣлѣ теплота хотя отчасти состоитъ въ невидимомъ движеніи его мельчайшихъ частицъ; поэтому указанный образъ былъ встрѣченъ очень сочувственно: онъ давалъ хотя для одного частнаго случая наглядное представленіе объ этомъ невидимомъ движеніи. Одна изъ первыхъ важныхъ работъ Клаузіуса

по этому вопросу была озаглавлена „О родѣ движенія, которое мы называемъ теплотою". Болѣе подробное описаніе „образа" есть задача математики и состоитъ въ опредѣленіи механическихъ свойствъ этой системы. Такъ какъ невозможно прослѣдить движенія отдѣльныхъ шариковъ, то дѣло сводится къ тому, чтобы, пользуясь принципами теоріи вѣроятности, опредѣлить среднія величины, характеризующія ихъ. Всѣмъ, что было сдѣлано для рѣшенія задачи, мы обязаны трудамъ Клаузіуса, Максвелля и Больцмана; результатами ихъ изслѣдованій мы и будемъ постоянно пользоваться.

Въ нашемъ образѣ играетъ важную роль кинетическая энергія или живая сила тѣла, напр. живая сила летящей пули; это та работа, которую, благодаря своей скорости, можетъ совершить пуля при своемъ разрушительномъ дѣйствіи; такъ опредѣленная кинетическая энергія пули пропорціональна ея массѣ и квадрату ея скорости.

Распредѣлительный законъ Максвелля-Больцмана. Итакъ, описываемая система одарена нѣкоторымъ запасомъ кинетической энергіи, обусловливаемой быстрымъ движеніемъ шариковъ, которые мы будемъ называть частицами. Не измѣняя этого запаса кинетической энергіи, мы можемъ въ нашемъ представленіи измѣнять движенія частицъ на тысячи ладовъ; напр. мы можемъ представить себѣ, что хотя ни одно изъ направленій не преобладаетъ, но скорости всѣхъ частицъ одинаковы. Но вообще такое состояніе системы вслѣдствіе взаимныхъ ударовъ частицъ измѣняется, напр. скорости однѣхъ частицъ увеличатся, а другихъ уменьшатся. Максвелль и Больцманъ доказали, что имѣется единственное состояніе движенія, которое не измѣняется вслѣдствіе ударовъ. Предоставленная самой себѣ система всегда стремится къ этому состоянію, каковы бы ни были начальныя условія. Въ этомъ состояніи нѣтъ ни одного направленія, по которому бы движеніе совершалось предпочтительнѣе, чѣмъ по другому; въ данномъ мѣстѣ пространства по каждому направленію движется одинакое число частицъ; но разныя частицы обладаютъ различными скоростями; распредѣленіе различныхъ скоростей можно представить слѣдующимъ образомъ: пусть опытный, но не непогрѣшимый стрѣлокъ стрѣляетъ въ мишень; онъ рѣдко будетъ попадать въ самый центръ, но рѣдко будетъ попадать и очень далеко отъ центра; чаще всего будутъ встрѣчаться опредѣленныя среднія уклоненія отъ центра. Между частицами газа ско-

рости распредѣляются по тому же закону, по какому распредѣлены эти уклоненія пуль отъ центра мишени.

Въ такомъ состояніи наша система представляетъ газъ, находящійся повидимому въ покоѣ; но существо, одаренное болѣе тонкими чувствами, замѣтило бы очень быстрыя движенія отдѣльныхъ частицъ; намъ кажется все въ покоѣ, ибо ни одно изъ направленій движенія не имѣетъ преимущества; преобладаніе движенія по одному направленію начинается лишь тогда, когда газу сообщается видимое движеніе. Движеніе въ описанномъ выше состояніи мы называемъ частичнымъ движеніемъ въ отличіе отъ видимаго движенія. Если извѣстной группѣ частицъ сообщить видимое движеніе и затѣмъ всю систему предоставить самой себѣ, то вслѣдствіе ударовъ скоро устанавливается максвеллевское состояніе и энергія видимаго движенія переходитъ въ энергію частичнаго движенія: видимое движеніе треніемъ превращается въ теплоту.

Законъ Бойля и законъ Авогадро. Первою нашею задачею будетъ найти въ нашемъ образѣ давно извѣстныя свойства дѣйствительныхъ газовъ. Первымъ изъ этихъ свойствъ есть давленіе, которое газъ оказываетъ на стѣнки заключающаго его сосуда. Можно было бы думать, что это давленіе возникаетъ также, какъ давленіе, производимое сжатою пружиною, которая стремится къ своей естественной длинѣ. Но въ нашемъ образѣ давленіе возникаетъ совершенно иначе.

Пусть въ верхней стѣнкѣ сосуда, заключающаго газъ, сдѣланъ клапанъ, открывающійся наружу; если сосудъ помѣщенъ въ безвоздушное пространство, то частицы газа, ударяя въ клапанъ изнутри, заставляютъ его приподняться. Дѣйствіе этихъ ударовъ можно уравновѣсить грузомъ, положеннымъ на клапанъ. Такимъ образомъ давленіе газа обусловливается его частичнымъ движеніемъ. Понятно, что это давленіе пропорціонально числу и силѣ ударовъ частицъ; отсюда можно вывести, что давленіе пропорціонально кинетической энергіи въ единицѣ объема газа [1]).

---

[1]) Пусть въ кубическомъ сосудѣ, ребра котораго имѣютъ 1 cm. длины, частица массы m летаетъ взадъ и впередъ параллельно одному изъ реберъ со скоростью u; она $u/2$ разъ въ секунду ударяетъ въ каждую изъ стѣнокъ, между которыми движется; при каждомъ ударѣ стѣнка получаетъ количество движенія $2mu$, ибо при этомъ скорость частицы мѣняетъ знакъ (изъ u обращается въ $-u$); въ теченіе секунды частица сообщаетъ стѣнкѣ количество движенія $2mu \cdot u/2 = mu^2$. Если въ куб. центиметрѣ заключено N частицъ, то, принимая

Теперь возникаетъ вопросъ отъ чего зависитъ температура въ нашемъ образѣ? Если рука окружена воздухомъ одной съ нею температуры, то мы испытываемъ удары частицъ только, какъ давленіе; если же температура воздуха выше температуры руки, то мы ощущаемъ и теплоту, ибо теперь быстро движущіяся частицы отдаютъ рукѣ часть своей энергіи, какъ теплоту. Для того, чтобы понять, почему не бываетъ такой отдачи, когда рука и воздухъ нагрѣты до одной температуры, надо вспомнить, что и частицы нашей руки находятся въ движеніи и сообщаютъ воздуху энергію и теплоту; потери тепла рукою и воздухомъ только тогда одинаковы, когда среднія кинетическія энергіи ударяющихъ частицъ имѣютъ вполнѣ опредѣленныя значенія. При этомъ индивидуальная природа ударяющихъ частицъ не имѣетъ никакого значенія, а одна лишь кинетическая энергія ихъ, такъ что легкія частицы водорода могутъ оказывать тоже дѣйствіе, какъ массивныя частицы кислорода, если только скорость первыхъ настолько превосходитъ скорость послѣднихъ, что энергіи тѣхъ и другихъ имѣютъ одинакія величины.

Итакъ мы имѣемъ два положенія: 1) температура газа зависитъ отъ средней кинетической энергіи его частицъ и 2) дав-

---

для простоты, что $N/3$ частицъ движутся со скоростью u параллельно одному изъ реберъ, не сталкиваясь съ другими частицами, найдемъ, что количество движенія, сообщаемое въ секунду стѣнкѣ (одному квадр. центиметру), или давленіе газа будетъ

(1) $$p = \frac{1}{3} Nmu^2.$$

Здѣсь Nm есть масса газа въ куб. центиметрѣ; если газъ имѣетъ массу M и занимаетъ объемъ V, то $Nm = M/V$ и предыд. ур-іе обращается въ

(1a) $$\frac{pV}{M} = \frac{u^2}{3};$$

такъ какъ правая часть постоянна, то эта формула выражаетъ *законъ Бойля или Маріотта*.

Кинетическая энергія въ куб. центиметрѣ газа

(2) $$K = N\frac{mu^2}{2}.$$

Изъ ур-ій (1) и (2) находимъ

(3) $$p = \frac{2}{3} K.$$

Принятое нами упрощеніе не вліяетъ на наши выводы.

леніе газа пропорціонально этой энергіи и числу частицъ въ единицѣ объема. Отсюда слѣдуетъ, что два разныхъ газа, напр. кислородъ и водородъ, нагрѣтыхъ до одинакихъ температуръ и находящихся подъ одинакими давленіями, должны имѣть одинакія числа частицъ въ единицѣ объема. Если температура остается постоянною, то давленіе газа пропорціонально числу частицъ въ куб. центиметрѣ; если число частицъ газа въ единицѣ объема постоянно, то съ повышеніемъ температуры давленіе увеличивается одинаково во всѣхъ газахъ. Въ этихъ выводахъ мы узнаемъ законы Авогадро, Бойля-Маріотта и Гэ-Люссака, которые, слѣдовательно, находятся въ нашемъ образѣ.

Удѣльная теплота газа. Индивидуальныя свойства различныхъ простыхъ газовъ обнаруживаются химическими реакціями. Частицы нѣкоторыхъ газовъ при подобныхъ реакціяхъ распадаются на нѣсколько меньшихъ частей, входящихъ въ химическія соединенія и называемыхъ атомами. Такъ частицы водорода, кислорода, азота и др. газовъ распадаются на два одинакихъ атома; такіе газы называются двухатомными. Частицы другихъ газовъ вступаютъ въ химическія соединенія, не раздѣляясь; такіе газы называются одноатомными; къ ихъ числу принадлежатъ пары ртути. Одноатомная частица ртути ведетъ очень однообразную жизнь, которую можно сравнить съ жизнью холостяка: одинокая и чуждая всякой внутренней жизни, эта частица летаетъ въ пространствѣ и замѣчаетъ себѣ подобныя только тогда, когда случайно съ ними столкнется. Напротивъ двухатомную частицу можно уподобить супругамъ: оба атома соединены вмѣстѣ притягательною силою; иногда они взаимно удаляются, чтобы затѣмъ быстро сблизиться; атомы такой частицы колеблются взадъ и впередъ; ей свойственна внутренняя жизнь; кромѣ энергіи полета, она обладаетъ еще внутреннею энергіею, величина которой возрастаетъ, когда съ повышеніемъ температуры энергія полета увеличивается. Отсюда слѣдуетъ, что для увеличенія энергіи частичнаго движенія двухатомнаго газа, т. е. для нагрѣванія его на извѣстное число градусовъ, должны ему сообщить больше энергіи, больше тепла, чѣмъ одноатомному газу для такого же нагрѣванія, ибо съ увеличеніемъ энергіи частичнаго движенія (которое одно сказывается повышеніемъ температуры) двухатомнаго газа сопряжено и увеличеніе энергіи его внутренняго движенія; такимъ образомъ удѣльная теплота двухатомнаго газа больше, чѣмъ удѣльная теплота одноатомнаго.

Для одноатомнаго газа легко найти приращеніе энергіи частичнаго движенія, соотвѣтствующаго данному нагрѣванію; оно должно быть пропорціонально приращенію его упругости; отсюда уже нетрудно вычислить и удѣльную теплоту этого газа [1]). Она, какъ и слѣдовало ожидать, оказывается меньше, чѣмъ для двухатомныхъ газовъ, водорода, кислорода и т. д.

Опредѣленіе отношенія удѣльныхъ теплотъ имѣетъ иногда

---

[1]) Пусть газъ, заключенный въ прежній кубическій сосудъ, нагрѣтъ до 0^0 и находится подъ нормальнымъ давленіемъ p_0. Теплота, которую надо ему сообщить для нагрѣванія на 1^0, есть *удѣльная теплота газа при постоянномъ объемѣ*; выраженную въ эргахъ эту теплоту мы обозначимъ γ_v. Теперь пусть одна изъ стѣнокъ сосуда перемѣщается безъ тренія, какъ поршень; при нагрѣваніи на 1^0, газъ расширяется на 1/273 своего объема; при этомъ, если давленіе остается постояннымъ, совершается работа $= p_0/273$; соотвѣтствующую теплоту называютъ *удѣльною теплотою газа при постоянномъ давленіи* и обозначаютъ γ_p. Понятно, что γ_p больше γ_v на величину $p_0/273$:

$$\gamma_p - \gamma_v = \frac{p_0}{273}. \tag{4}$$

Если отношеніе этихъ теплотъ обозначить k,

$$\frac{\gamma_p}{\gamma_v} = k, \tag{5}$$

то по предыдущему

$$\gamma_v = \frac{1}{k-1}\,\frac{p_0}{273}. \tag{6}$$

Всѣ эти соотношенія совершенно независимы отъ представленій кинетической теоріи газовъ.

Если газъ нагрѣвается при постоянномъ объемѣ отъ 0^0 до t^0, то—по закону Гэ-Люссака—его упругость изъ p_0 обращается въ

$$p = p_0\left(1 + \frac{t}{273}\right). \tag{7}$$

Слѣд. если температура газа повышается на 1^0, то его упругость увеличивается на $p_0/273$, а кинетическая энергія одноатомнаго газа возрастаетъ при этомъ на $3p_0/2.273$ (форм. 3). Поэтому для такого газа

$$\gamma_v = \frac{3}{2}\,\frac{p_0}{273}. \tag{8}$$

Сравнивая это съ (6), находимъ

$$k = \frac{5}{3} = 1{\cdot}666\ldots \tag{9}$$

Именно это значеніе k было найдено изъ опыта для паровъ ртути и такимъ образомъ для нихъ оправдана формула (8).

важное значеніе. Когда Релей и Рамзай открыли аргонъ, то по его плотности нашли и его частичный вѣсъ; но для того, чтобы данному тѣлу найти мѣсто въ періодической системѣ элементовъ, нужно было знать еще его атомный вѣсъ; на основаніи химическихъ реакцій этого нельзя было сдѣлать, ибо аргонъ ни въ какія соединенія не вступаетъ. Для рѣшенія вопроса было опредѣлено отношеніе удѣльныхъ теплотъ и это отношеніе оказалось соотвѣтствующимъ одноатомному газу. Отсюда надо было заключить, что аргонъ одноатоменъ и что его атомный и частичный вѣса одинаковы. Тоже можно сказать относительно гелія и другихъ вновь открытыхъ Рамзаемъ газовъ атмосферы.

Треніе, теплопроводность и диффузія газовъ. Наконецъ мы обращаемся къ группѣ такихъ явленій, о которыхъ очень мало знали, пока Максвелль и Клаузіусъ не примѣнили къ нимъ принциповъ кинетической теоріи газовъ и такимъ способомъ не обнаружили ихъ законы, а также ихъ взаимныя соотношенія. Эти явленія суть: внутреннее треніе, теплопроводность и диффузія газовъ.

Можно вычислить, что при обыкновенной температурѣ средняя скорость частицы воздуха равна приблизительно 480 m/sec, [1]) т. е. разъ въ двадцать больше, чѣмъ скорость курьерскаго поѣзда. По поводу этого результата Бюи-Балло (въ 1858 г.) спрашивалъ: какъ же объяснить, что хлоръ или сѣроводородъ, развитые въ одномъ углу комнаты, лишь чрезъ нѣсколько минутъ даютъ себя знать (своимъ запахомъ) въ другомъ концѣ комнаты, тогда какъ ихъ частицы обладаютъ такими скоростями, что сотни разъ въ секунду могутъ пролетѣть комнату? Это недоумѣніе было разъяснено замѣчаніемъ Клаузіуса, что частицы воздуха хотя и обладаютъ скоростями 480 m/sec, но никогда долго не движутся по одному направленію: непрерывно сталкиваясь съ сосѣдними частицами, онѣ постоянно мѣняютъ направленіе своего движенія, иногда даже принуждены возвращаться назадъ и потому лишь медленно достигаютъ отдаленныхъ мѣстъ. При этомъ частицы описываютъ зигзагообразный путь, состоящій изъ прямолинейныхъ вѣтвей различной длины и направленія, въ которомъ можно замѣтить правильность лишь тогда, когда взять большое число свободныхъ путей между двумя столкновеніями

[1]) Для этого надо въ форм. (1a) положить $p = 1^{atm} = 10^6 dn/cm^2$ и $M/V = 0{\cdot}001293\ gr/cm^3$.

и найти среднее ариѳметическое изъ ихъ длинъ; эта такъ называемая средняя длина пути частицы уменьшается съ увеличеніемъ числа и размѣра частицъ, такъ какъ вмѣстѣ съ ними возрастаетъ и число столкновеній въ секунду; именно, средняя длина пути обратно-пропорціональна числу частицъ и площади ихъ сѣченія; для атмосфернаго воздуха она приблизительно равна 1/10000 mm.; величины такого же порядка получаются и для другихъ газовъ. Изъ всего сказаннаго ясно слѣдуетъ, что если надъ тяжелымъ газомъ расположенъ болѣе легкій, не опускающійся внизъ дѣйствіемъ силы тяжести, то газы лишь медленно смѣшиваются или, какъ говорятъ, диффундируютъ одинъ въ другой.

Эти соображенія имѣютъ еще большее значеніе, такъ какъ примѣняются ко всѣмъ случаямъ, когда одинъ участокъ газа обладаетъ иными свойствами, чѣмъ окружающіе. Положимъ напр., что температура одного участка газа выше, чѣмъ температура въ окружающихъ, и примемъ, что въ выравнивающемъ процессѣ тяжесть не принимаетъ участія; пусть напр. болѣе легкій газъ помѣщается надъ болѣе тяжелымъ. Въ болѣе нагрѣтомъ участкѣ частицы имѣютъ сначала бóльшую кинетическую энергію, содержатъ больше тепла, чѣмъ въ менѣе нагрѣтыхъ участкахъ, куда благодаря своимъ движеніямъ первыя проникаютъ и приносятъ свою бóльшую энергію. Въ этомъ состоитъ процессъ *теплопроводности*: предоставленный самому себѣ газъ стремится къ максвеллевскому конечному состоянію, въ которомъ вліянія различія въ температурахъ выравнены и всѣ частицы всюду имѣютъ одинакія кинетическія энергіи.

Представимъ себѣ наконецъ, что одному участку газа сообщается общее движеніе; пусть напр. на центробѣжную машину насаженъ горизонтальный дискъ, который приводится во вращеніе, и надъ нимъ въ близкомъ отъ него разстояніи находится другой горизонтальный дискъ, подвѣшенный за центръ. Если послѣдній дискъ сначала неподвиженъ, то чрезъ нѣкоторое время онъ тоже начинаетъ вращаться; говорятъ, что треніемъ воздуха движеніе нижняго диска было перенесено на верхній дискъ. Въ нашей картинѣ мы представляемъ себѣ, что частицы воздуха, ударяющіяся въ нижній вращающійся дискъ, принимаютъ общее движеніе соотвѣтствующаго мѣста; летя вверхъ, они уносятъ съ собою это движеніе и сообщаютъ его выше лежащимъ частицамъ, когда сталкиваются съ ними; эти въ свою очередь пере-

даютъ его дальше; такимъ образомъ это движеніе наконецъ переносится на верхній дискъ.

Теперь возникаетъ вопросъ, какъ это выравнивающее дѣйствіе частичныхъ движеній зависитъ отъ плотности газовъ, т. е. въ нашей картинѣ—отъ числа носильщиковъ. Представимъ себѣ напр. воздухъ между двумя параллельными стѣнами, при чемъ верхняя стѣна теплѣе, чѣмъ нижняя; тогда теплота переносится сверху внизъ, и спрашивается, какъ скорость этого переноса зависитъ отъ плотности газа, т. е. отъ числа переносящихъ частицъ. Представимъ себѣ, что у двухъ противоположныхъ стѣнъ зала разставлено извѣстное число предметовъ, и мы поручаемъ извѣстному числу людей перемѣщать эти предметы отъ одной стѣны къ другой и наоборотъ; пока число людей невелико, скорость переноса будетъ пропорціональна ихъ числу; но если число людей постепенно увеличивать, то они начнутъ натыкаться другъ на друга и мѣшать одинъ другому; наконецъ скорость переноса не будетъ увеличиваться съ числомъ людей. Нѣчто подобное представляетъ воздухъ при теплопроводности и при треніи; если разрѣдить воздухъ, то мы уменьшаемъ, конечно, число носильщиковъ, но въ томъ же отношеніи уменьшаемъ и число ихъ столкновеній или увеличиваемъ среднюю длину пути, такъ что меньшее число переносящихъ частицъ работаетъ также быстро, какъ прежде работало большее число. Другими словами *треніе и теплопроводность газа независимы отъ его упругости*. Сдѣлавши этотъ выводъ изъ кинетической теоріи газовъ (въ 1860 г.), Максвелль прибавилъ такое замѣчаніе: „этотъ результатъ математической теоріи поразителенъ, но я не встрѣчалъ ни одного опыта, который бы могъ его подтвердить". Однако, шесть лѣтъ спустя, это слѣдствіе было блестяще оправдано опытами О. Э. Мейера и самого Максвелля. Если подъ колоколомъ разрѣжающаго насоса горизонтальная пластинка совершаетъ крутильныя колебанія, то треніемъ воздуха эти качанія затухаютъ совершенно независимо отъ давленія воздуха, пока послѣднее не уменьшено до нѣсколькихъ mm. ртутнаго столба. Точно также термометръ, помѣщенный въ замкнутое пространство, охлаждается теплопроводностью газа независимо отъ упругости послѣдняго, измѣняемой въ широкихъ предѣлахъ.

Распространеніе максвеллевскаго заключенія на всякое разрѣженіе газа привело бы къ нелѣпости. Но теорія сама указываетъ предѣлъ примѣненія этого заключенія и повела къ новымъ

опытамъ, подтверждавшимъ предсказываемыя ею свойства разрѣженныхъ газовъ.

Изъ всего сказаннаго ясно, что диффузія, треніе и теплопроводность газовъ находятся въ тѣсной зависимости другъ отъ друга; пользуясь кинетической теоріею, можно вычислить теплопроводность газа изъ его тренія, можно найти зависимость того и другого отъ температуры.

Размѣръ и число частицъ. Оказывается, что, пользуясь данными опыта, можно опредѣлить нѣкоторыя свойства частицъ, которыя мы должны имъ приписать, если хотимъ, чтобы въ составленномъ изъ нихъ образѣ воспроизводились свойства дѣйствительныхъ газовъ. При этомъ замѣтимъ что оцѣнки, которыя будутъ приведены ниже, повидимому, достаточно надежны; сдѣланныя различными путями, онѣ приводятъ всегда къ величинамъ одного порядка.

По коэффиціенту тренія, можно найти, что въ воздухѣ средняя длина пути приблизительно 0·1 микрона. Зная еще среднюю скорость движенія частицъ, находимъ, что каждая частица испытываетъ 4600 милліоновъ столкновеній въ теченіе секунды. Діаметръ частицы оказывается около 0·001 микрона [1]), т. е. онъ

---

[1]) Лошмидтъ слѣдующимъ способомъ опредѣлилъ діаметръ частицы и число частицъ въ единицѣ объема.

Извѣстно, что при 0^0 и 76^{cm} кубическій центиметръ кислорода имѣетъ массу 0·001429 gr.; при $-181{\cdot}4^0$ куб. центиметръ жидкаго кислорода имѣетъ массу 1·124 gr. Слѣд. если куб. центиметръ газообразнаго кислорода охлаждается до $-181{\cdot}4^0$ и сжижается, то его объемъ уменьшается до $0{\cdot}001429/1{\cdot}124 = 0{\cdot}00127$ куб. cm. или до 0·00127 своего начальнаго объема. Стало быть, N частицъ одного куб. центиметра газообразнаго кислорода занимаютъ лишь 0·00127 куб. центим. или еще меньше; такъ что если чрезъ s назовемъ діаметръ частицы кислорода (которую будемъ считать сферической), то

$$N\frac{4}{3}\left(\frac{s}{2}\right)^3\pi \leqq 0{\cdot}00127$$

или

$$N\pi s^3 \leqq 6{.}0{\cdot}00127. \tag{10}$$

Въ кинетической теоріи газовъ выводится слѣдующая формула для средней длины пути

$$l = \frac{1}{N\pi s^2\sqrt{2}}. \tag{11}$$

Отсюда по (10) имѣемъ

$$s \leqq 6{.}0{\cdot}00127\, l\sqrt{2}. \tag{12}$$

относится къ миллиметру, какъ центиметръ относится къ километру. Число частицъ въ куб. центиметрѣ воздуха оцѣнивается трилліонами. Чтобы составить себѣ нѣкоторое представленіе объ этомъ громадномъ числѣ, вообразимъ себѣ городъ съ милліоннымъ населеніемъ; вообразимъ себѣ милліонъ такихъ городовъ, расположенныхъ рядомъ на одной горизонтальной плоскости; пусть такая совокупность городовъ милліонъ разъ повторяется по вертикальному направленію; тогда мы получимъ комплексъ городовъ съ трилліоннымъ населеніемъ. Таково же число частицъ въ каждомъ куб. центиметрѣ воздуха, которымъ мы дышемъ! Извѣстно, что cm^3 воздуха имѣетъ массу 1·2 mgr.; такимъ образомъ на mgr. воздуха приходится также трилліонъ частицъ.

Въ рёнтгеновской трубкѣ воздухъ разрѣженъ до 1/100000 atm. Средній путь частицъ тамъ достигаетъ одного дециметра; но число частицъ въ куб. центиметрѣ все еще считается билліонами; въ самой сильной „пустотѣ", которую мы можемъ осуществить, частицъ немного меньше билліона на каждый куб. центиметръ; столько жителей было бы въ милліонѣ городовъ съ милліоннымъ населеніемъ каждый. Старое ученіе Аристотеля „horror vacui" опять какъ бы входитъ въ силу, хотя и не въ томъ смыслѣ, который ему придавалъ древній философъ.

По указаннымъ даннымъ частицы кинетической теоріи газовъ чрезвычайно малы. Однако, новѣйшія изслѣдованія указы-

---

Изъ опытовъ надъ треніемъ средній путь частицъ кислорода (при 0^0 и $1^{atm.}$) опредѣляется въ $10{\cdot}2.10^{-6}$ cm. $(=l)$; слѣд.

$$s \leq 0{\cdot}11.10^{-6} \text{ cm.} \tag{13}$$

Такимъ образомъ діаметръ частицы кислорода равенъ или меньше 1·1 милліонной миллиметра. Если это значеніе s подставить въ (11), то находимъ

$$N = \frac{1}{\pi\sqrt{2}}\left(\frac{10^6}{0{\cdot}11}\right)^2 \frac{10^6}{10{\cdot}2} = 1{\cdot}8.10^{18}$$

или около двухъ трилліоновъ. Слѣдовательно при атмосферномъ давленіи въ куб. центиметрѣ *всякаго* газа находится около двухъ трилліоновъ частицъ. Это число впервые было найдено Лошмидтомъ и потому извѣстно подъ названіемъ *лошмидтовскаго числа.* Кстати вычислимъ сколько частицъ въ одномъ граммѣ водорода. Извѣстно, что куб. центиметръ водорода имѣетъ массу $0{\cdot}0013.0{\cdot}07 = 0{\cdot}00009$ gr. или приблизительно 0·0001 gr.; но въ куб. cm. имѣется $1{\cdot}8.10^{18}$ частицъ; слѣд. въ одномъ граммѣ водорода имѣется приблизительно $1{\cdot}8.10^{18}/0{\cdot}0001 = 1{\cdot}8.10^{22}$ частицъ.

ваютъ, повидимому, на существованіе еще гораздо меньшихъ частичекъ. Если изъ слабо заряженнаго острія электричество истекаетъ въ водородъ, то—по современнымъ воззрѣніямъ—оно разносится мельчайшими частичками, которыя называются іонами. Если остріе заряжено положительно, то электричество разносится положительными іонами, массы коихъ не много отличаются отъ массъ водородныхъ частицъ; если же остріе заряжено отрицательно, то проводимость обусловливается отрицательными іонами, которые—по изслѣдованіямъ Дж. Дж. Томсона—въ 2000 разъ меньше частицъ водорода. Потокъ этихъ чрезвычайно мелкихъ частичекъ съ отрицательными зарядами, вѣроятно образуетъ какъ въ катодные, такъ и беккерелевскіе лучи. Здѣсь, какъ и во многомъ другомъ, электричество, повидимому, осуществляетъ то, что казалось невозможнымъ, а именно расщепляетъ химическій атомъ; если это такъ, то Максвелль не былъ правъ, опредѣляя атомъ, какъ часть матеріи, которую нельзя далѣе дѣлить.

Въ настоящее время физики усердно занимаются изслѣдованіями того, какую роль играютъ эти мельчайшія частички въ нѣкоторыхъ явленіяхъ, еще плохо объясненныхъ; есть надежда, что этимъ путемъ дойдутъ до открытія новыхъ соотношеній между различными явленіями природы.

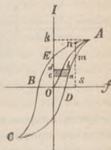
Но и тутъ дѣло идетъ лишь объ „образѣ"; и какъ бы плодотворна ни оказалась концепція этихъ частичекъ, ихъ дѣйствительное существованіе будетъ отъ того доказано не болѣе, чѣмъ плодотворностью кинетической теоріи доказывается дѣйствительное существованіе частицъ газовъ.

Магнитное запаздываніе

П. А. Зилова.

1. Представимъ себѣ, что кусокъ желѣза испытываетъ замкнутый магнитный циклъ, т. е. подвергается дѣйствію намагничивающей силы, непрерывно измѣняющейся сначала отъ 0 до f_1, потомъ отъ f_1 до $-f_1$, отъ $-f_1$ до f_1 и т. д.; будемъ въ то же время (изъ опытовъ съ магнитометромъ) измѣрять магнитность нашего желѣза (т. е. магнитный моментъ желѣза, раздѣленный на

его объемъ) для различныхъ намагничивающихъ силъ; результаты этихъ измѣреній представимъ графически, построивъ магнитныя кривыя, въ которыхъ абсциссы представляютъ намагничивающую силу, а ординаты — магнитность желѣза. Оказывается, что при первомъ процессѣ точка діаграммы перемѣщается по кривой OA (фиг. 1), во второмъ по кривой ABC, въ третьемъ по кривой CDA, лежащей ниже предыдущей, въ четвертомъ опять по ABC и т. д. Такимъ образомъ при одной и той же намагничивающей силѣ, напр. при Os желѣзо имѣетъ бо́льшую магнитность (sn), когда оно постепенно размагничивается, чѣмъ (sm) когда оно постепенно намагничивается.



фиг. 1.

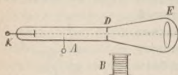
Изъ сказаннаго видно, что желѣзо упорствуетъ въ сохраненіи своего магнитнаго состоянія, которое не измѣняется вслѣдъ за намагничивающею силою, а нѣсколько запаздываетъ. Это явленіе называется ***магнитнымъ запаздываніемъ*** или ***гистерезисомъ***, а замкнутая кривая $ABCDA$ — кривою магнитнаго запаздыванія.

Эта кривая состоитъ изъ двухъ вѣтвей, ибо магнитность не пропорціональна намагничивающей силѣ, а находится отъ нея въ сложной зависимости. Если бы существовала пропорціональность, то обѣ вѣтви нашей кривой выпрямлялись и совмѣщались; тогда бы не было и магнитнаго запаздыванія. Въ случаѣ измѣненія намагничивающей силы въ предѣлахъ $\pm 0{\cdot}04$ $C. G. S.$, желѣзо не представляетъ магнитнаго запаздыванія.

2. Ангстрёму принадлежитъ очень изящный пріемъ, не только обнаруживающій магнитное запаздываніе, но и вырисовывающій его кривую.

Этотъ пріемъ основанъ на употребленіи трубки Брауна. Такъ называется круксовская трубка, представленная на фиг. 2, съ анодомъ A и катодомъ K; на концѣ расширенной части трубки помѣщается слюдяная пластинка E, покрытая флуоресцирующимъ веществомъ; по рединѣ трубки имѣется алюминіевая діафрагма D съ малымъ отверстіемъ въ центрѣ. Катодные лучи, выйдя изъ K, проходятъ діафрагму и проникаютъ тонкимъ пучкомъ въ широкую часть трубки; встрѣчая нормально флуоресцирующій экранъ E, эти лучи даютъ здѣсь свѣтлое пятнышко. Если около брауновской трубки развить магнитное поле, направлен-

ное перпендикулярно къ ея оси напр. поднести соленоидъ B или магнитъ, то катодные лучи отклонятся по направленію перпендикулярному какъ къ направленію поля, такъ и къ оси трубки; понятно, что и светлое пятнышко на флуоресцирующемъ экранѣ отклонится въ ту же сторону [1]) и притомъ на разстояніе тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе магнитное поле; оно перемѣстится впередъ или назадъ, смотря потому направлено-ли поле снизу вверхъ или сверху внизъ. Если токъ въ соленоидѣ усиливается, то перемѣщеніе пятнышка увеличивается и наоборотъ; если перемѣнить направленіе тока въ соленоидѣ, то пятнышко отклоняется въ противоположную сторону; если въ катушкѣ токъ измѣняется непрерывно, то пятнышко непрерывно движется; если въ катушкѣ токъ періодическій, то пятнышко совершаетъ колебанія по прямой; если повторяемость этихъ колебаній болѣе 10, то наше пятнышко растягивается въ свѣтлую полоску. Такимъ образомъ брауновская трубка можетъ служить гальванометромъ; правда, это не особенно чувствительный гальванометръ, но въ одномъ отношеніи брауновская трубка имѣетъ такое преимущество передъ обыкновеннымъ гальванометромъ, которое дѣлаетъ ее незамѣнимою въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Обыкновенный гальванометръ, конечно, неоцѣнимъ при измѣреніи постояннаго тока: положеніе равновѣсія неподвижно отклоненной магнитной стрѣлки гальванометра зависитъ только отъ дѣйствующаго на нее тока. Иное дѣло, если магнитная стрѣлка гальванометра находится въ движеніи: положеніе движущейся магнитной стрѣлки, обладающей моментомъ инерціи и собственнымъ періодомъ, вовсе не соотвѣтствуетъ току, идущему по гальванометру въ данный моментъ; за внезапными измѣненіями тока магнитная стрѣлка не можетъ слѣдовать; при быстро перемѣнныхъ токахъ магнитная стрѣлка показываетъ лишь суммарное ихъ дѣйствіе; такимъ образомъ можно сказать, что складываются не только одновременныя дѣйствія различныхъ токовъ на магнитную стрѣлку, но складываются и разновременныя дѣйствія на нее одного перемѣннаго тока. Въ брауновской трубкѣ указателемъ служитъ

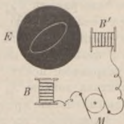


фиг. 2.

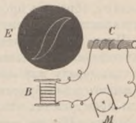
[1]) См. *Физическое Обозрѣніе* 1 т. (1900) стр. 56.

пучекъ катодныхъ лучей, т. е. указатель, не имѣющій ни момента инерціи, ни собственнаго періода; поэтому положеніе свѣтлаго пятнышка на флуоресцирующемъ экранѣ зависитъ только отъ величины тока въ каждый данный моментъ, и оно неуклонно слѣдуетъ за всѣми измѣненіями тока, какъ бы внезапно они ни происходили и какъ бы часто ни повторялись; тутъ складываются лишь одновременныя дѣйствія различныхъ токовъ, но разновременныя дѣйствія одного тока не складываются. Въ виду всего сказаннаго ясно, что при изслѣдованіи перемѣнныхъ токовъ трубка Брауна гораздо пригоднѣе обыкновеннаго гальванометра.

Если снизу брауновской трубки помѣстить вертикальную катушку *B* (фиг. 3) съ періодическимъ токомъ, то свѣтлое пятнышко на флуоресцирующемъ экранѣ начнетъ качаться горизонтально и растянется въ горизонтальную полоску; если сбоку трубки поставить горизонтальную катушку *B'*, то — подъ дѣйствіемъ періодическихъ токовъ въ ней — пятнышко растягивается



фиг. 3.



фиг. 4.

въ вертикальную полоску; если обѣ катушки одновременно дѣйствуютъ, то свѣтлое пятнышко растягивается въ замкнутую криволинейную полоску той или другой формы, смотря по складывающимся движеніямъ; такимъ образомъ здѣсь можно получить всѣ фигуры Лисажу.

Для обнаруженія магнитнаго запаздыванія при помощи брауновской трубки, оставимъ вертикальную катушку *B* (фиг. 4) на мѣстѣ, а горизонтальную замѣнимъ желѣзнымъ стержнемъ *C*, обмотаннымъ нѣсколькими оборотами проволоки; все это соединимъ послѣдовательно съ источникомъ *M* періодическаго тока. Подъ дѣйствіемъ вертикальной катушки пятнышко будетъ отклонено (изъ центра флуоресцирующаго экрана) на разстояніе пропорціональное току въ катушкѣ и въ оборотахъ *C*, а слѣд. и

намагничивающей силѣ послѣднихъ, а подъ дѣйствіемъ намагниченнаго желѣза пятнышко будетъ отклонено по вертикали на разстояніе пропорціональное магнитному моменту желѣза (обороты C настолько малочисленны, что не оказываютъ замѣтнаго дѣйствія на пятнышко); первое разстояніе можетъ служить абсциссою, а второе—ординатою кривой магнитнаго запаздыванія; если нашъ періодическій токъ имѣетъ достаточную повторяемость, то на флуоресцирующемъ экранѣ свѣтлое пятнышко растянется въ полоску, представляющую намъ кривую магнитнаго запаздыванія.

3. По частямъ магнитное запаздываніе было давно уже извѣстно; но во всей своей полнотѣ оно было изучено впервые Э. Варбургомъ. Вглядываясь въ черт. 1, мы сдѣлаемъ рядъ интересныхъ выводовъ.

1) Вообще магнитное состояніе желѣза не есть слѣдствіе только тѣхъ условій, въ которыхъ оно находится въ данный моментъ, а результатъ всего имъ пережитого, о чемъ магнитное тѣло навсегда сохраняетъ память. Эта „магнитная память" поразительнымъ образомъ проявляется въ телеграфонѣ Поульсена [1]) и представляетъ любопытную аналогію съ человѣческою памятью.

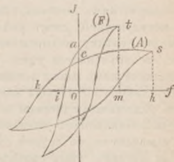
2) Пусть намагничивающая сила привела тѣло въ состояніе, представляемое точкою A (фиг. 1); затѣмъ эта намагничивающая сила (сразу или постепенно) устранена; послѣ этого состояніе нашего тѣла будетъ представляться точкою E; слѣд. и теперь въ испытуемомъ тѣлѣ остается магнитность, представляемая отрѣзкомъ OE; эта магнитность сохраняется въ тѣлѣ неопредѣленно долгое время и называется *остаточною*, а тѣло, обладающее такою магнитностью,—*постояннымъ магнитомъ*. Эта остаточная магнитность аналогична упругому послѣдѣйствію.

3) Для размагниченія постояннаго магнита, его надо подвергнуть дѣйствію противоположной намагничивающей силы OB, которую называютъ *задерживательною силою* даннаго магнита.

4) Если намагничивать до насыщенія мягкое желѣзо и сталь, то кривыя магнитныхъ запаздываній имѣютъ формы, представленныя на черт. 5, при чемъ кривая A относится къ стали, а кривая F—къ желѣзу; кривая желѣза прямѣе и ограничиваетъ болѣе узкую полосу, чѣмъ кривая стали. Изъ чертежа видно, что сталь труднѣе насытить, чѣмъ желѣзо: для магнитнаго насыщенія стали надо примѣнить намагничивающую силу Oh, тогда

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе*, 2 томъ (1901), стр. 187.

какъ для насыщенія желѣза — лишь силу *Om*; да и наибольшая магнитность стали (*hs*) меньше, чѣмъ желѣза (*mt*). Хотя остаточная магнитность желѣза (*Oa*) больше, чѣмъ стали (*Oc*), но здѣсь она устойчивѣе, чѣмъ въ желѣзѣ, ибо въ стали задерживательная сила (*Ok*) больше, чѣмъ въ желѣзѣ (*Oi*).



фиг. 5.

Постоянные магниты, которые должны по возможности лучше сохранять свою магнитность, слѣдуетъ приготовлять изъ вещества, обладающаго большою задерживательною силою, а электромагниты, которые должны легко размагничиваться или перемагничиваться, слѣдуетъ приготовлять изъ вещества, обладающаго по возможности малою задерживательною силою. Поэтому-то для приготовленія постоянныхъ магнитовъ пригоднѣе сталь, а для приготовленія электромагнитовъ—желѣзо. Впрочемъ магнитныя свойства тѣла зависятъ не только отъ его химической природы и размѣровъ, но и отъ его обработки, а также отъ температуры. Отпускъ желѣза значительно уменьшаетъ его остаточную магнитность; механическія обработки, какъ-то холодная ковка, вытягиваніе и закручиваніе, увеличиваютъ ее. Наконецъ и температура желѣза имѣетъ вліяніе на его магнитныя свойства; до 700° Ц. свойства эти, повидимому, не зависятъ отъ температуры; начиная съ этой температуры магнитность желѣза уменьшается и при 770° совершенно исчезаетъ.

5). Опыты показываютъ, что кривыя намагниченія (*OA*, фиг. 1) и размагниченія (*AEB*) тѣмъ ближе между собою, чѣмъ короче и толще желѣзный стержень. Слѣд. остаточный магнитизмъ желѣзнаго стержня тѣмъ больше, чѣмъ онъ длиннѣе и тоньше; въ очень короткомъ и толстомъ стержнѣ остаточный магнитизмъ незначителенъ. Слѣд. если хотимъ приготовить постоянный магнитъ, то надо взять *длинный* и *тонкій* стальной стержень; если же хотимъ приготовить электромагнитъ, который бы терялъ свой магнитизмъ тотчасъ послѣ устраненія намагничивающей силы, то надо брать *толстый* и *короткій* желѣзный стержень.

4. Магнитнымъ запаздываніемъ объясняются и нѣкоторыя другія явленія.

Извѣстно, что во вращающемся кольцѣ Грамма полярная линія не совпадаетъ съ полемъ: вслѣдствіе магнитнаго запаздыванія она всегда направлена нѣсколько впередъ относительно вращенія кольца.

Извѣстно также, что магнитная стрѣлка, качающаяся надъ металлическимъ дискомъ, быстро успокаивается, а вращающійся металлическій дискъ увлекаетъ за собою горизонтальную магнитную стрѣлку, которая подвѣшена надъ нимъ (опыты Араго). Все это объясняется тѣмъ, что при сказанныхъ условіяхъ въ металлическомъ дискѣ развиваются паразитные токи; справедливость такого объясненія видна изъ того, что если дискъ разрѣзать радіальными щелями и устранить такимъ образомъ возможность возникновенія паразитныхъ токовъ, то указанныхъ явленій не замѣчается; съ другой стороны дѣйствія металлическаго диска на магнитъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ проводимость его больше и чѣмъ быстрѣе онъ вращается; оба эти обстоятельства способствуютъ усиленію паразитныхъ токовъ. Впрочемъ если дискъ сдѣланъ изъ желѣза, то явленіе особенно сильно, несмотря на то, что проводимость желѣза меньше, чѣмъ многихъ другихъ металловъ; явленіе не зависитъ отъ скорости вращенія диска; оно имѣетъ мѣсто даже въ томъ случаѣ, когда дискъ изрѣзанъ радіально; дѣло въ томъ, что въ случаѣ желѣза эти явленія обусловливаются не столько паразитными токами, сколько магнитнымъ запаздываніемъ. Представимъ себѣ горизонтальный желѣзный дискъ, вращающійся около вертикальной оси, проходящей чрезъ его центръ; разсмотримъ въ дискѣ два сектора, равнонаклоненныхъ къ подвѣшенной надъ нимъ магнитной стрѣлкѣ; оба сектора находятся подъ дѣйствіемъ одинакихъ намагничивающихъ силъ, обусловливаемыхъ самою стрѣлкою; но одинъ изъ этихъ секторовъ приближается къ магниту и потому намагничивается, а другой удаляется отъ магнита и потому размагничивается; вслѣдствіе магнитнаго запаздыванія магнитный моментъ послѣдняго сектора больше, чѣмъ перваго, и потому удаляющійся секторъ притягиваетъ къ себѣ концы стрѣлки съ большею силою, чѣмъ приближающійся секторъ.

Одиннадцатый Съѣздъ русскихъ естествоиспытателей и врачей 1901 г.

П. А. Зилова.

Съѣзды русскихъ естествоиспытателей и врачей—эти праздники русской науки—въ послѣднее время дѣлались все многолюднѣе и интереснѣе. Послѣдній Съѣздъ былъ чрезвычайно интересенъ и особенно многолюденъ.

Званіе почетнаго предсѣдателя Съѣзда принялъ на себя Его Высочество Принцъ Александръ Петровичъ Ольденбургскій, который открылъ первое общее собраніе словами:

„Государь Императоръ всемилостивѣйше соизволилъ повелѣть мнѣ привѣтствовать отъ Его Августѣйшаго Имени одиннадцатый Съѣздъ русскихъ естествоиспытателей и врачей и пожелать Съѣзду успѣха въ его дѣятельности".

Это царское пожеланіе исполнилось въ полной мѣрѣ! Съѣздъ имѣлъ громадный успѣхъ; это въ особенности слѣдуетъ сказать относительно физической секціи. Уже на Московскомъ Съѣздѣ 1894 года, по иниціативѣ А. Г. Столѣтова, физическая секція обогатилась однимъ нововведеніемъ — опытными демонстраціями, на которыхъ члены могли познакомиться съ цѣлымъ рядомъ новыхъ явленій. Это нововведеніе удержалось и на Кіевскомъ Съѣздѣ 1898 года. На теперешнемъ Петербургскомъ Съѣздѣ физическая секція еще расширила свою программу, прибавивъ *обзоры* по различнымъ возникшимъ въ послѣднее время вопросамъ. Такимъ образомъ занятія секціи состояли: 1) изъ сообщенія научныхъ докладовъ, 2) изъ демонстрацій опытовъ и 3) изъ чтенія обзоровъ. Все это дало столько матеріала, что секція засѣдала по три раза въ день.

Блестящему успѣху секціи очень много способствовалъ только-что открытый физическій институтъ, едва-ли не лучшій изъ всѣхъ существующихъ; но главнымъ образомъ этимъ успѣхомъ мы обязаны трудамъ и заботамъ профессоровъ И. И. Боргмана и О. Д. Хвольсона. Честь имъ и слава!

Нагляднымъ доказательствомъ успѣха физической секціи служило постоянное присутствіе толпы на ея засѣданіяхъ: въ большую аудиторію Института, разсчитанную на 350 человѣкъ, собиралось вдвое и втрое больше! Не касаясь научныхъ докладовъ на засѣданіяхъ секціи, приведемъ только списокъ обзоровъ, демонстрацій и осмотровъ.

Обзоры.

1) *В. А. Михельсонъ* — Термодинамика лучистой энергіи. 2) *Г. Г. Де-Метцъ*—О случайномъ двойномъ преломленіи. 3) *П. А. Зиловъ*—Механизмъ вольтова столба. 4) *В. А. Кистяковскій*—Разборъ возраженій противъ теоріи электролитической диссоціаціи. 5) *Н. Д. Зелинскій*—О свѣтовыхъ явленіяхъ электрическаго разряда у нѣкоторыхъ органическихъ веществъ при температурѣ жидкаго воздуха. 6) *Д. А. Гольдгаммеръ*—Современный взглядъ на намагничение свѣта. 7) *Н. Н. Шиллеръ*—Основные законы термодинамики. 8) *Г. А. Тамманъ* — Объ отношеніи кристаллическаго состоянія къ жидкому состоянію. 9) *А. П. Соколовъ*—Современное состояніе ученія объ электролизѣ и электризаціи.

Демонстраціи.

1) *И. И. Боргманъ*—Жидкій воздухъ. 2) *Н. П. Мышкинъ*—Движенія въ электростатическомъ полѣ. 3) *А. А. Добіашъ* — Печь Муасана. 4) *Б. Ю. Кольбе*—Приборы. 5) *В. К. Лебединскій*—Оптическіе приборы. 6) *В. А. Баллсный*—Новые электрическія явленія. 7) *Г. Пашковскій* — Новая система освѣщенія аудиторіи и волшебнаго фонаря. 8) *А. А. Эйхенвальдъ* — Звучащая вольтова дуга. 9) *В. Ф. Миткевичъ*—Алюминіевый выпрямитель перемѣннаго тока. 10) Большой фонарь (эпидіаскопъ) фирмы Цейсса. 11) *В. С. Игнатовскій* — Рѣшетка Роланда. 12) Индукторъ М. Коля и круксовскія трубки Гугерсгофа. 13) *Б. И. Зубаревъ*—Явленіе Теслы. 14) *В. С. Игнатовскій* — Распространеніе электрическихъ волнъ вдоль проволокъ. 15) *И. И. Боргманъ*—Новыя явленія свѣченія въ газахъ. 16) *А. М. Шателенъ* —Курбографъ для перемѣнныхъ токовъ. 17) *В. Л. Розенбергъ*—Приборы. 18) *Я. Н. Жукъ* — Новые опыты по электричеству. 19) *Д. А. Гольдгаммеръ* и *Аристовъ*—Новый ручной регуляторъ и простой электрическій прерыватель Симона. 20) *А. С. Поповъ*—Телеграфъ безъ проводовъ. 21) *А. А. Гершунъ* — Цвѣтная фотографія. 22) *А. П. Афанасьевъ*— Самодѣйствующій воздушный насосъ Рапса.

Осмотры.

1) Электрическая станція „Геліосъ", 2) Главная палата мѣръ и вѣсовъ, 3) Электротехническій институтъ, 4) Военно-медицинская академія и 5) Александровскій кадетскій корпусъ.

Во время Съѣзда въ институтѣ была устроена выставка физическихъ приборовъ, въ которой принимали участіе 14 фирмъ (Siemens изъ Берлина, Zeiss изъ Іенны, Max Kohl изъ Хемница и др.) и 7 частныхъ лицъ.

Пока я ограничиваюсь этимъ перечнемъ, надѣясь вскорѣ дать подробный отчетъ о нѣкоторыхъ обзорахъ, демонстраціяхъ и осмотрахъ [1]).

Упомянемъ еще, что на общихъ собраніяхъ Съѣзда были прочитаны двѣ рѣчи по физикѣ, а именно 20 декабря Н. А. Умовымъ: *„Физико-механическая модель живой матеріи"* и 30 декабря Д. А. Гольдгаммеромъ: *„Столѣтіе физики."*

Благодаря просвѣщеннымъ заботамъ почетнаго предсѣдателя Съѣздъ былъ обставленъ небывалымъ внѣшнимъ блескомъ: каждый изъ дней общихъ собраній былъ ознаменованъ особымъ празднествомъ: 20 декабря былъ безплатный спектакль въ Народномъ домѣ Императора Николая II, гдѣ давали историческую хронику „Петръ Великій"; 26-го декабря былъ осмотръ Императорскаго Зимняго Дворца и Императорскаго Эрмитажа; 30-го декабря былъ раутъ у Принца и Принцессы Ольденбургскихъ, происходившій въ Дворянскомъ Собраніи.

---

[1]) Сущность обзора В. А. Михельсона уже напечатана въ *Физическомъ Обозрѣніи* 2 т. (1901 г.) подъ заглавіемъ „Очерки по спектральному анализу"; объ обзорѣ Н. П. Мышкина даетъ понятіе его статья, помѣщенная въ этомъ № *Физическаго Обозрѣнія*; одна изъ демонстрацій Д. А. Гольдгаммера описана имъ въ слѣдующей статьѣ.

Дуговая лампа съ ручнымъ регуляторомъ

Д. А. Гольдгаммера и И. И. Аристова [1].

Несмотря на всѣ современныя техническія усовершенствованія автоматически дѣйствующихъ электрическихъ дуговыхъ лампъ, все-таки для лекціонныхъ цѣлей нерѣдко приходится предпочитать имъ лампы съ вольтовою дугою, регулируемою отъ руки. Неудобства автоматическихъ регуляторовъ выступаютъ особенно рѣзко въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится питать лампу токомъ городской электрической сѣти, и это потому, что напряженіе городского тока, особенно въ маленькихъ городахъ, часто подвергается весьма сильнымъ колебаніямъ. Если далѣе принять во вниманіе, что „автоматы" представляютъ особыя удобства лишь при долгомъ горѣніи дуги, что на лекціяхъ обычно не имѣетъ мѣста, и что въ этомъ случаѣ и безъ того при лампѣ необходимо присутствіе ассистента совсѣмъ для другихъ цѣлей, то становится очевиднымъ, что ручному регулятору слѣдуетъ отдать рѣшительное предпочтеніе.

И дѣйствительно, такіе регуляторы за послѣднее время уже вошли кое-гдѣ въ употребленіе: такъ напр. на X Съѣздѣ естествоиспытателей въ Кіевѣ 1898 г. всѣ демонстраціи производились при помощи лампы, регулируемой отъ руки. Соотвѣтственно такой потребности и техника начала особенно рекомендовать подобныя лампы (напр. т. наз. „Volta" и др.). Но современныя дуговыя лампы-автоматы страдаютъ и иными недостатками: такъ напр. лампа Шукерта работаетъ при 20 amp. тока, требуя даже 30 amp. для приведенія въ дѣйствіе регулирующаго механизма; кромѣ того всѣ подобные механизмы дороги. Первое неудобство обусловлено, какъ извѣстно, стремленіемъ получить настолько большую яркость свѣта, чтобы оно было достаточно

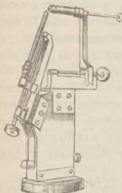
[1] Статья эта была напечатана въ Phys. ZS. 1901 г., № 38.

во всѣхъ случаяхъ, напр. можно было очень многое проектировать, не затемняя аудиторіи. Между тѣмъ теперь въ городскихъ электрическихъ установкахъ нерѣдко напряженіе доходитъ до 150 volt и болѣе, такъ что амперъ-часъ горѣнія шукертовской лампы потребуетъ свыше 3 килуаттовъ и обойдется около рубля. Если бы получить тотъ же свѣтовой эффектъ при 10 amp., то расходы уменьшились бы вдвое. Еще рѣзче разница при употребленіи аккумуляторовъ. Такъ какъ дуговыя лампы требуютъ обычно около 50 volt, то напр. при 30 аккумуляторахъ и 5 ohm сопротивленія въ дугѣ мы имѣли бы токъ въ 12—13 amp., между тѣмъ какъ для шукертовской лампы понадобится имѣть около 70 аккумуляторовъ и при томъ гораздо большей емкости! Но если удовольствоваться ручною регулировкою лампы, то maximum яркости можно получить легко и болѣе дешевыми путями, именно помѣщая угли *болѣе раціонально*.

Съ точки зрѣнія наилучшаго использованія свѣта лампы, наивыгоднѣйшее положеніе положительнаго угля, очевидно, есть *горизонтальное*, такъ какъ только при этомъ положеніи наиболѣе яркое мѣсто угля—кратеръ—все обращено къ конденсору и посылаетъ въ него maximum свѣта. Но если ось положительнаго угля горизонтальна и совпадаетъ съ оптическою осью линзъ, то такое положеніе имѣетъ еще и другія выгоды. Именно, разъ кратеръ установленъ какъ нужно, является почти исключеннымъ его перемѣщеніе въ стороны или вверхъ и внизъ. При сгораніи угля свѣтовая „точка" только передвигается по оптической оси системы, удаляясь отъ конденсора. Разумѣется это обстоятельство значительно облегчаетъ центрировку свѣтящей „точки".

Сначала мы помѣщали отрицательный уголь подъ угломъ 45° къ горизонту; позже оказалось болѣе удобнымъ ставить его подъ угломъ около 60°; вольтова дуга горитъ спокойнѣе, а отрицательный уголь и при этомъ положеніи незагораживаетъ свѣта, такъ что, проектируя конденсоромъ кратеръ на экранъ, получаемъ совсѣмъ правильное круглое очень яркое пятно. Благодаря свойству двухъ прямыхъ подъ угломъ давать лишь одну точку пересѣченія, регулированіе лампы чрезвычайно просто; надо лишь сближать угли, поддерживая вольтову дугу постоянной длины. У построенной нами лампы, изображенной на рисункѣ въ 1/8 натуральной величины, оба угля перемѣщаются каждый при помощи своего винта; приспособленіе для поднятія или опусканія и для вращенія лампы около вертикальной оси уже

имѣлось у стараго фонаря Дюбоска нашего физическаго кабинета. Послѣднее приспособленіе отчасти излишне; что же касается перваго, то легко сдѣлать соотвѣтствующій винтъ у самой лампы. Полезно имѣть также винтъ для вращенія положительнаго угля около его оси. Форма и размѣры нашей лампы выбраны были такъ, чтобы она подходила къ старому фонарю Дюбоска, который найдется во всякомъ университетскомъ физическомъ кабинетѣ; нужно лишь сдѣлать въ стѣнкахъ фонаря нѣсколько подходящихъ вырѣзокъ.


Фиг. 1.

Съ положительнымъ фитильнымъ углемъ 17 mm. толщины при отрицательномъ углѣ въ 9·4 mm. мы примѣняемъ токъ 10—15 amp. Съ дюбосковскимъ конденсоромъ всего въ 8 cm. діаметра и съ почти такимъ же фокуснымъ разстояніемъ мы получаемъ столько свѣта, что почти все на лекціяхъ проектируется безъ затѣмненія аудиторіи. При подходящемъ подборѣ размѣровъ конденсора (напр. 20 cm. діаметра и столько же для фокуснаго разстоянія), очевидно, наша лампа превзойдетъ по силѣ свѣта ceteris paribus всѣ лампы съ инымъ положеніемъ углей. Взять конденсоръ большихъ размѣровъ и болѣе длиннофокусный удобно и по другимъ соображеніямъ. Теперь въ фонарѣ Дюбоска мало мѣста для помѣщенія холодильника, да и кратеръ слишкомъ близокъ къ конденсору, отчего послѣдній очень часто трескается; это впрочемъ не представляетъ особыхъ неудобствъ, такъ какъ разъ образовавшаяся трещина со временемъ не мѣняется и ничему въ сущности не мѣшаетъ. На лекціяхъ опытной физики одного изъ насъ эта лампа примѣняется уже почти два года и оказалась весьма практичною. Мы бы рекомендовали ее особенно для физическихъ кабинетовъ среднихъ учебныхъ заведеній, для всякаго рода публичныхъ чтеній съ проектированіемъ діапозитововъ и т. п.

При проекціяхъ спектровъ металловъ мы пока еще пользуемся обыкновенною лампою съ вертикальными углями, потому что новая лампа случайно сдѣлана черезъ-чуръ высокою. Но легко видѣть, что и для сказанной цѣли примѣнима наша лампа, если кратеръ опустить достаточно низко (ниже оптической оси

линзъ) и металлъ вводить сбоку. Сильная тяга въ лампахъ держитъ вольтову дугу вообще съ достаточнымъ постоянствомъ вертикально.

Казань, физическая лабораторія университета, 1901.

Опыты съ электрическимъ разрядомъ

А. А. Трусевича.

Въ общихъ курсахъ физики, при переходѣ отъ электростатическихъ явленій къ явленіямъ электрическаго тока, дѣлается обыкновенно скачокъ и не достаточно выставляется на видъ связь между электрическими явленіями обѣихъ категорій; къ тому же и источники элекричества—электрическія машины—слишкомъ мало походятъ на источники электрическаго тока—гальваническіе элементы. Поэтому въ концѣ всего отдѣла объ электричествѣ нелишне демонстрировать рядъ опытовъ, которые бы показали, что электрическою машиною можно воспроизвести главнѣйшія явленія тока, а элементами—электростатическія явленія.

На лекціяхъ опытной физики въ здѣшнемъ университетѣ всѣ нижеописываемые опыты дѣлаются съ прекрасною электрическою машиною Тёплера [1]), но ихъ можно (хотя конечно не такъ эффектно) производить и съ обыкновенными машинами—съ электрофорною Гольца или съ самозаряжающеюся Фосса, которыя имѣются въ каждомъ физическомъ кабинетѣ.

1) *Электрическій разрядъ отклоняетъ магнитную стрѣлку.* Если большую лейденскую банку сперва зарядить электрическою машиною, а затѣмъ разрядить чрезъ гальванометръ, то стрѣлка послѣдняго отбрасывается въ сторону. Опытъ легко удается съ гальванометромъ Депре-д'Арсонваля [2]).

Пользуясь машиною Тёплера, коллекторы ея можно прямо соединить съ гальванометромъ; при дѣйствіи машины, стрѣлка гальванометра испытываетъ постоянное отклоненіе; слѣд. въ про-

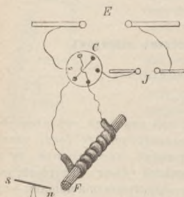
---

[1]) Машина имѣетъ 20 вращающихся круговъ; пріобрѣтена отъ Leuner, въ Дрезденѣ, за 1200 марокъ.

[2]) См. *Физическое Обозрѣніе* 1 т. (1900) стр. 187.

волокѣ, соединяющей эти коллекторы, идетъ непрерывный электрическій токъ.

2) *Электрическій разрядъ намагничиваетъ желѣзо.* Коллекторы электрической машины E (фиг. 1) соединяются чрезъ искровой прерыватель J съ средними чашечками коммутатора C, крайнія чашечки котораго соединены на крестъ между собою проволоками, продѣтыми въ каучуковыя трубочки; одна пара этихъ чашечекъ соединяется съ концами проволоки, тоже продѣтой въ каучуковую трубочку и обвитой вокругъ пучка желѣзныхъ проволокъ F. Близъ одного конца этого пучка расположена горизонтальная магнитная стрѣлка ns. Приведемъ машину во



Фиг. 1.

вращеніе; тогда одинъ конецъ магнитной стрѣлки, напр. n, притягивается желѣзнымъ пучкомъ; слѣд. подъ вліяніемъ электрическихъ разрядовъ желѣзо намагничивается; если коммутаторомъ C измѣнить направленіе разрядовъ въ обмоткѣ желѣза, стрѣлка ns поворачивается къ желѣзу другимъ концомъ, s; слѣд. при перемѣнѣ направленія нашихъ разрядовъ желѣзо перемагнитилось.

3) *Индукція отъ электрическаго разряда.* Коллекторы электрической машины Фосса (съ достаточно большими лейденскими банками) соединяются чрезъ искровой прерыватель съ толстою обмоткою трансформатора Тесла, погруженнаго въ керосинъ; тонкая обмотка этого трансформатора соединяется съ небольшою гейслеровскою трубочкою. При каждой искрѣ въ прерывателѣ, гейслеровская трубочка вспыхиваетъ и такимъ образомъ обнаруживаетъ, что каждый разрядъ, проходящій по одной обмоткѣ, наводитъ токъ въ другой обмоткѣ.

4) *Электролизъ отъ электрическаго разряда.* Пропусканіе разрядовъ чрезъ вольтаметръ съ подкисленною водою не даетъ никакихъ замѣтныхъ результатовъ; если же тонкую обмотку румкорфовскаго индуктора соединить чрезъ искровой прерыватель съ машиною Фосса, а толстую обмотку—съ вольтаметромъ, на-

полненнымъ подкисленною водою, то при каждой искрѣ въ прерывателѣ съ электродовъ вольтаметра поднимаются пузырьки газовъ.

При употребленіи машины Тёплера въ вольтаметрѣ получается непрерывное разложеніе.

5) *Электрическій разрядъ нагрѣваетъ проводникъ,* по которому проходитъ. При разряженіи лейденской банки чрезъ тонкую желѣзную проволоку, послѣдняя накаляется, часто даже перегораетъ.

6) *Заряженіе гальваническимъ элементомъ.* Если концы элемента соединять съ квадрантами лекціоннаго электрометра В. Томсона, то стрѣлка послѣдняго отклоняется; слѣд. элементъ заряжаетъ квадранты электрометра до различныхъ потенціаловъ. Зарядить проводникъ можно и при помощи индуктивныхъ токовъ. Для этого одинъ конецъ тонкой обмотки румкорфовскаго индуктора отводятъ къ землѣ, а другой конецъ чрезъ искровой прерыватель (достаточно раздвинутый) соединяютъ съ обыкновеннымъ электроскопомъ: при дѣйствіи индуктора листочки электроскопа расходятся.

Варшава, физическій кабинетъ университета, 1901.

Физическій кабинетъ.

1) *Зависимость сопротивленія проводника отъ его размѣровъ.* Надо имѣть проводникъ, длину и площадь поперечнаго сѣченія котораго можно удобно и замѣтнымъ для всѣхъ образомъ измѣнять; съ другой стороны надо, чтобы этотъ проводникъ имѣлъ такое большое сопротивленіе, передъ которымъ сопротивленіе остальной части цѣпи (соединительныхъ проволокъ и гальванометра) исчезало бы. Всѣмъ этимъ условіямъ удовлетворяетъ растворъ мѣднаго купороса, налитый въ стеклянный ящикъ, имѣющій форму параллелипипеда (длина 20 cm., высота и ширина 10 cm.); въ ящикъ опускаютъ вертикальныя мѣдныя пластинки, соединенныя съ батареею и гальванометромъ. Для измѣненія площади поперечнаго сѣченія нашего проводника въ ящикъ наливаютъ раствора до 4 cm. высоты, затѣмъ до 8 cm.; для измѣненія длины проводника, перемѣщаютъ мѣдныя пластинки. Стеклянный ящикъ отъ Лейбольда изъ Кёльна; гальванометромъ служилъ

лекціонный амперметръ (Hartmann und Braun); батарея — десять аккумуляторовъ.

2) *Химическій гигрометръ.* Большую стеклянную бутыль запираютъ пробкою, въ которую вставлены манометръ и большая воронка съ краномъ и пробкой; въ воронку наливаютъ сѣрной кислоты, часть которой впускаютъ въ бутыль, послѣ чего опять запираютъ кранъ; по измѣненію показанія манометра заключаютъ объ упругости водяныхъ паровъ въ испытуемомъ воздухѣ.

3) *Поглощеніе лучей свѣтящими газами.* Горѣлка Гейнце даетъ большое плоское безцвѣтное пламя (газъ выходитъ изъ длинной щели), которое подкрашивается парами натрія (для чего края щели обкладываются полосками азбестовой бумаги, предварительно смоченной растворомъ поваренной соли). Передъ этою горѣлкою ставятъ обыкновенную бунзеновскую горѣлку съ безцвѣтнымъ пламенемъ, которое тоже подкрашиваютъ; но пламя этой горѣлки должно имѣть температуру ниже, чѣмъ пламя первой; въ виду этого на бунзеновскую горѣлку ставятъ желѣзный колпачекъ, закрытый сверху латунною сѣткою съ небольшимъ отверстіемъ посрединѣ; пламя, проходя чрезъ сѣтку, охлаждается ею и представляется чернымъ, особенно по краямъ, на фонѣ яркаго пламени задней горѣлки. Горѣлка Гейнце пріобрѣтена отъ Гугерсгофа въ Лейпцигѣ за 9 марокъ 50 пф.

4) *Собственныя колебанія тѣла.* Отъ рапиры съ прямоугольнымъ поперечнымъ сѣченіемъ отламываютъ конецъ въ 30—35 cm.; къ верхнему концу такого клинка прикрѣпляютъ гироскопъ со свинцовымъ грузикомъ на его периферіи, а нижній конецъ крѣпко зажимается въ тиски; приводятъ гироскопъ во вращеніе, скорость котораго постепенно уменьшается. Сначала клинокъ неподвиженъ; вдругъ онъ раскачивается въ одномъ направленіи (параллельно малой сторонѣ поперечнаго сѣченія), затѣмъ опять успокаивается, чрезъ нѣкоторое время вновь раскачивается, но по направленію перпендикулярному къ прежнему (параллельно большой сторонѣ сѣченія), наконецъ совсѣмъ успокаивается (v. Shaik, ZS. f. phys. Unter. VIII, p. 121).

5) *Зависимость высоты звука отъ числа колебаній* можно показать такъ: привести сирену Каньяръ-де-ла-Тура въ дѣйствіе и къ краю вращающагося диска дотронуться пальцемъ: скорость вращенія диска вдругъ уменьшается, и тонъ сразу измѣняется.